

**Національний технічний університет України  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря  
Сікорського»**

**МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра технології машинобудування

**Магістерська  
дисертація на здобуття  
ступеня магістра**

Підвищення ефективності технологічної операції оброблення внутрішніх прямих шліців

Автор Шостакевич Павло Віталійович  
Н.кер. доцент, к.т.н. Данилова Л. М.  
2019

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	5
ВСТУП .....	9
1. Аналіз обробки протяжки шліцевих внутрішніх поверхонь.....	11
1.1 Де застовуються шліцеві з'єднання.....	11
1.2 Способи протягування внутрішніх шліцевих поверхонь.....	19
1.3 Ефективність операції протягуванням.....	26
2. Підвищення ефективності операції протягування шліцевих отворів.....	31
2.1 Шляхи підвищення ефективності операції протягування шліцевих прямих отворів.....	31
2.2 Коригування внутрішньої шліцевої протяжки.....	33
2.3 Визначення похибки бокових стінок прямобічних шліців .....	39
2.4 Контроль розмірів профіля протяжки, по роликах.....	44
3. Корекція профіля комбінованої протяжки при виконанні операції протягування шліцевого отвору .....	49
3.1 Вплив температурних факторів на нарізання внутрішніх прямих шліців .....	50
3.2 Вплив кутів піднутріння на шорсткість оброблюваної поверхні....	53
3.3 Коригування шліцевих протяжок трикутного профілю.....	55

## **РЕФЕРАТ**

Магістерська дисертація складається з змісту, вступу, чотирьох розділів, списку використаної літератури та додатків. Дисертація містить 61 сторінок тексту, 26 рисунків.

Вдосконалити спосіб конструкторсько-технологічного забезпечення, параметрів прямолінійних шліцьових протяжок, щоб підвищити надійність і ефективність. Відрізняється складність конструктивних елементів, трудомісткість виготовлення велика. Протяжка котра зношується в процесі використання. Це все переносить вартість на деталі котрі оброблюються, стаючи частиною виробничо-технологічної системи, що визначає ефективність операції протягування. Але операція протягування не потребує велик затрат, а основні затрати на інструмент ( протяжку), усі проблеми зводяться до техніко-економічної ефективності самої протяжки.

Щоб досягти підвищення ефективності при застосуванні внутрішньої шліцьової протяжки, потрібно застосувати геометричну модель процесу шліфування бічних поверхонь прямих шліцьових зубів.

Магістерська дисертація є науково-дослідною роботою, завдяки якій можна визначити похибку бокової стінки прямолінійного шліця.

У даній дисертаційній роботі наведені похибки бокових поверхонь прямолінійних внутрішніх шліців. Із результатів досліджень сформовані рекомендації щодо корекції протяжок.

У дисертаційній роботі використано математичний апарат розрахунку коригування прямолінійних поверхонь.

Цінність роботи полягає в універсальності розробленого продукту, який забезпечує ефективну обробку із різними кутами бічного профілю, прямокутних і трикутних шліців.

### **Публікації**

**1.** Шостакевич П. В. студент, Данилова Л. М. к.т.н., доц. Корекція профілю шліцьової протяжки з прямобічним профілем зуба. Міжнародна

Науково-технічна конференція молодих вчених та студентів. Наукові конференції України, інновації молоді в машинобудуванні 2019.

**2.** Шостакевич П. В. студент, Лапач С. М. старший викладач. Стійкість єдиної лінії кореляції і ортогональної регресії порівняно зі стандартною регресією. Міжнародна Науково-технічна конференція молодих вчених та студентів. Наукові конференції України, інновації молоді в машинобудуванні 2018.

## ABSTRACT

The master's thesis consists of content, introduction, four sections, a list of used literature and applications. The dissertation contains 61 pages of text, 26 drawings.

Improve the method of design and technological support, the parameters of rectilinear splines to improve reliability and efficiency. The complexity of structural elements differs, the complexity of manufacturing is great. An extension that wears out during use. It all transfers the cost to the parts being processed, becoming part of the production and technological system that determines the efficiency of the drawing operation. But the broach operation does not require a lot of costs, and the main costs of the instrument are (broach), all problems are reduced to the technical and economic efficiency of the broach itself.

To achieve greater efficiency when applying an internal spline, it is necessary to apply a geometric model of the process of grinding the lateral surfaces of straight spline teeth.

The master's thesis is a research work, by which it is possible to determine the error of the side wall of a rectilinear slot.

This dissertation presents the errors of the lateral surfaces of rectilinear inner slots. From the results of the researches, the formed recommendations on the correction of the broach were formed.

In the dissertation the mathematical apparatus for calculating the correction of rectilinear surfaces is used.

The value of the work lies in the versatility of the developed product, which provides efficient processing with different angles of the side profile, rectangular and triangular slots.

## Publications

1. Shostakevich PV student, Danilova LM Ph.D., Assoc. Correction of a profile of a splenic broach with a rectangular tooth profile. International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students. Scientific conferences

of Ukraine, youth innovations in mechanical engineering 2019.

2. Shostakevich PV Student, Lapach SM Senior Lecturer. Stability of single line correlation and orthogonal regression compared to standard regression. International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students. Science Conferences of Ukraine, Youth Innovations in Mechanical Engineering 2018.

## ***ВСТУП***

Використовуються шліци і пази, які, як правило, в радіальному порядку розташовуються на місці зачеплення. Дане з'єднання має достатню міцність і забезпечує співвісність валу і отвори. Основна перевага полягає в тому, що деталь може переміщатися в осьовому напрямку.

Як ви розумієте, існує кілька способів закріпити дві деталі за допомогою шліца. В тих чи інших умовах використовують різні методи. Існують евольвентні шліцеві з'єднання. Від прямобічного вони відрізняються формою зубця (бічною поверхнею) і западинами. Мають кілька незаперечних переваг, таких як передача великого крутного моменту і висока точність центрування під чималому навантаженням. Якщо говорити про прямобічного з'єднаннях, то основні плюси полягають у простоті виготовлення і дешевизні. Також є і трикутні шліци, але вони використовуються рідше. Найчастіше в місцях з'єднання нерухомих деталей з невеликим крутним моментом. Досить часто знаходять своє застосування в тонкостінних втулках. У них використання інших видів з'єднань не вважається допустимим по ряду технологічних причин.

Як вже було зазначено вище, шпонкові і шліцеві з'єднання використовуються для того, щоб виключити проворачивание двох деталей відносно один одного. Перед тим як встановити деталь на вал, її перевіряють на міцність, що дозволяє підібрати оптимальні технічні характеристики, такі як матеріал, габарити, вагу. Якщо говорити про процентну поширеності шліцов, то прямобічні займають близько 80%, а на евольвентні і трикутні залишається всього по 10%. Залежно від навантаженості з'єднання підбирається серія виробу, яка може бути легкою, середньої або важкою. Важливо звертати увагу на наявність мастила в з'єднанні, особливо якщо воно рухливе. Відсутність мінерального масла або твердого матеріалу призведе до того, що в кілька разів збільшиться коефіцієнт тертя.

Чим більше крутний момент потрібно передавати, тим вище сам шліц і

більше їх кількість. За рахунок цього збільшується площа контакту.

Зубчасті з'єднання розраховуються з урахуванням похибки виготовлення. Між поверхнями сполучених деталей є зазор з'єднання. При повороті провідної деталі він зміщується в протилежну сторону від напрямку дії сили. В ідеалі всі поверхні стикаються і навантажені однаково. За фактом зубчасті з'єднання виготовляються з похибкою, в залежності від розміру і способу обробки. Муфта однією площиною стикається сильніше, іншими менше. При розрахунку міцності вибирається по таблиці поправочний коефіцієнт, що дозволяє розрахувати параметри деталей на міцність з урахуванням нерівномірних сил навантажень.

Зазор в сполученні визначає розмір холостого ходу. Починаючи рухатися, ведуча деталь спочатку вибирає просвіт між робочими площинами, потім починається силовий вплив і обертання веденої деталі і всього вузла.



## *1. Аналіз обробки протяжки шліцевих внутрішніх поверхонь*

### *1.1 Де застовуються шліцеві з'єднання*

Шліцьові з'єднання (рис 1.1) служать для закріплення деталей (шківів, зубчастих коліс, муфт, маховиків, кулачків і т.п.) на осях і валах. З'єднання навантажуються в основному обертає. За допомогою шліцьового з'єднання забезпечується як нерухоме, так і рухоме з'єднання деталей.

Переваги шліцьових з'єднань: висока несуча здатність завдяки більшій робочій поверхні шліців; висока міцність вала коли виникають невеликі напруження; можливість застосування точних і продуктивні методів обробки шліців протягуванням (маточинах) і зубів на валах (фрезеруванням черв'ячними фрезами, шліфуванням, як при нарізанні зубів зубчастих коліс). Цим досягається висока точність центрування шліцьових з'єднань.

Недоліки: висока вартість, через складність технологічного обладнання; виготовлення шліцьових з'єднань стає економічно вигідним лише при крупносерійному і серійному виробництвах.

Галузь застосування:

- в високонавантажених машинах (автотранспорт, верстатобудування, авіабудування і т.п.),
- в якості нерухомих з'єднань для жорсткого з'єднання маточини з валом,
- для компенсації невеликої несоосності в рухомих з'єднаннях під навантаженням (карданні вали) і без навантаження (рухливі зубчасті колеса в коробках передач).



Рис.1.1. Шліцеве з'єднання.



Рис.1.2. Деталі шліцевих з'єднань, що застосовуються в автомобільній промисловості.

В автомобілебудуванні шліцеві з'єднання застосовуються в коробках передач, в з'єднаннях карданних валів і колісних механізмів. На рис.1.2 показані фланець півосі, первинний вал коробки передач автомобіля і карданний вал, в яких застосовано шлицеве з'єднання.

В авіаційній промисловості шліцьові з'єднання застосовують в турбінах авіадвигунів, Рис.1.2., Рис.1.3.

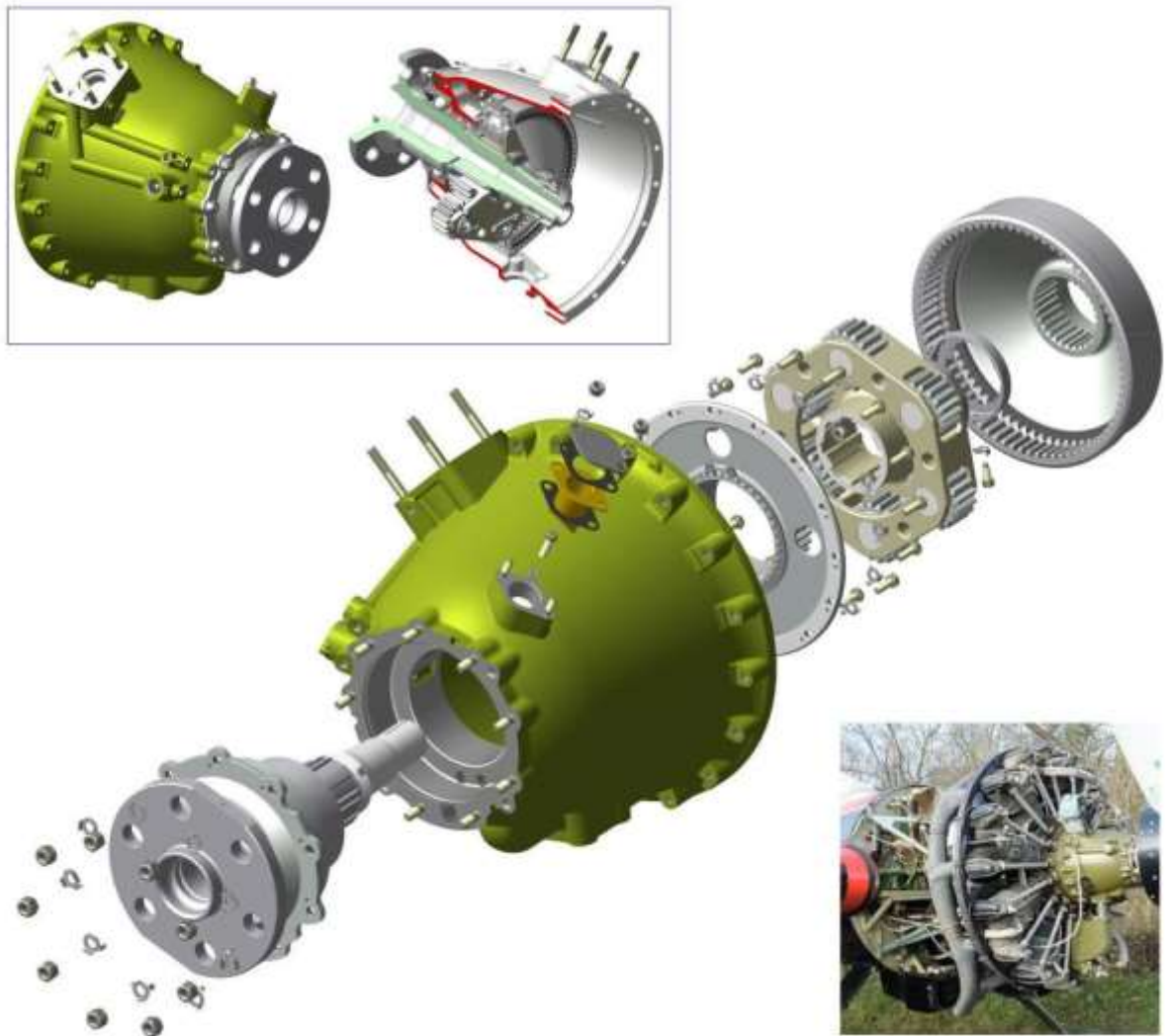
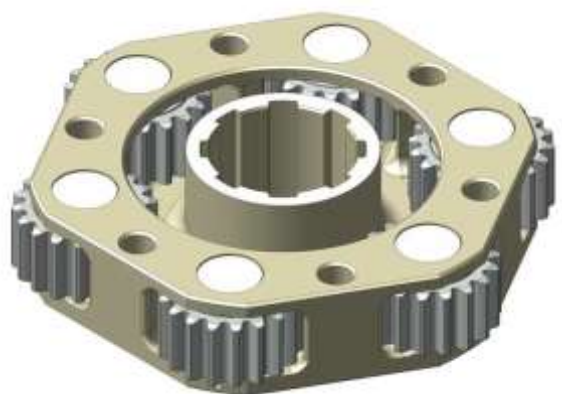


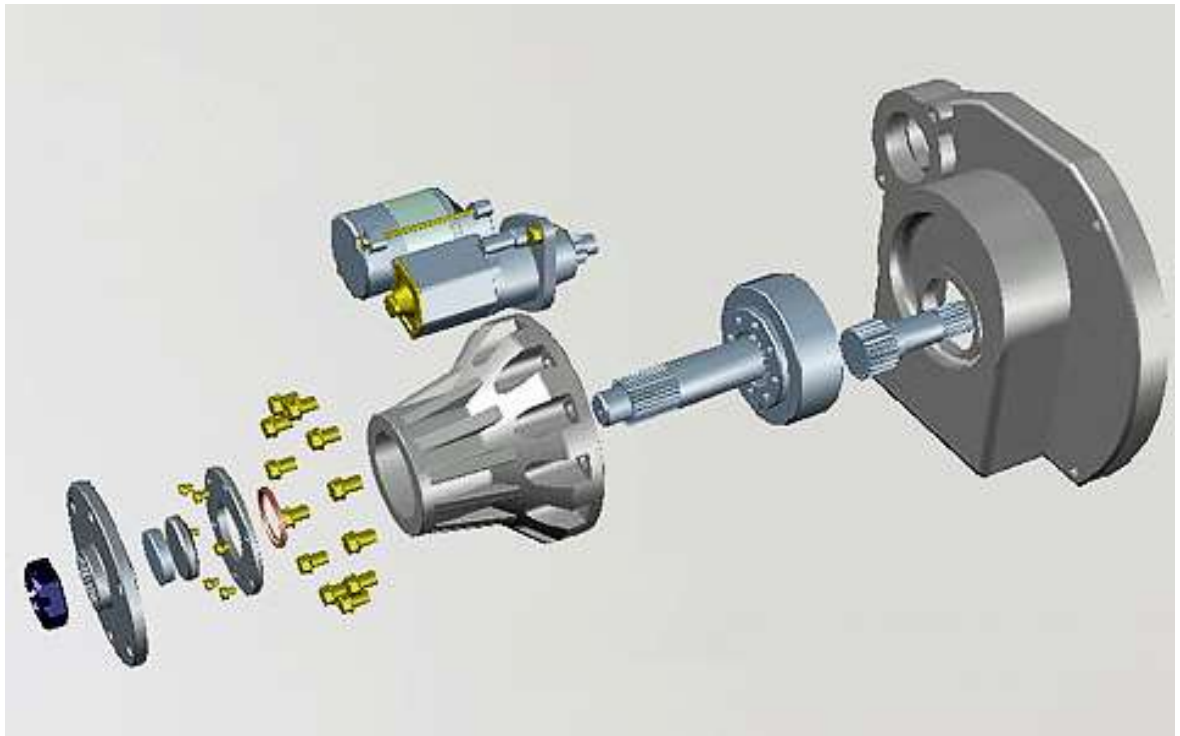
Рис.1.2. Редуктор зіркоподібного однорядного девятициліндрового поршневого авіадвигуна.



а)



б)



в)



г)

Рис.1.3. Деталі й вузли, які застосовуються в авіаційній промисловості:  
 а) - полумуфта авіаційного двигуна, б) - блок сателітів планетарної передачі редуктора авіаційного двигуна, в) - редуктор авіаційного гвинтового двигуна, монтажні фланці, г) - фланці кулькових гайок шліцьових ротаційних валів.

Фланці в авіації застосовуються в якості передачі крутних моментів

валів. Стандарти проектування та розміри монтажних фланців шліцевих валів для аерокосмічної техніки. Шліцевий вал з фланцевою гайкою (рис. 1.3, г) - легкий і компактний вузол, що володіє кульковою гайкою з круговими каналами кочення кульок. Гайка містить монтажний фланець.

Ротаційний вал не передається через зовнішній фланець крутного моменту. Крутий момент передається через внутрішній фланець.

Подібні шліцеві з'єднання валів фланцями застосовуються також в авіації і космонавтиці.

### Види шліцевих з'єднань

Шліцеві з'єднання розрізняють:

- Розрізняють шліцеві з'єднання нерухомі і рухомі з можливістю переміщення деталей уздовж осі під навантаженням або без навантаження. (Наприклад, шліцеві з'єднання свердлильних шпинделів верстатів, карданних валів автомобілів і ін.) Шліцеві (зубчасті) з'єднання стандартизовані, рис.1.4.);



Рис.1.4. Блок шестерен коробки передач.

- за формою зуба, прямобічні (рис. 1.5А), евольвентні (рис. 1.5б), трикутні (рис. 1.5В);

- за способом центрування ( з центруванням по зовнішньому діаметрі  $D$  (рис. 1.6А), по внутрішньому діаметру  $d$  (рис. 1.6б) і по бічних поверхнях зубів (рис. 1.7В). Зазор в контакті центруючих поверхонь практично

відсутня.

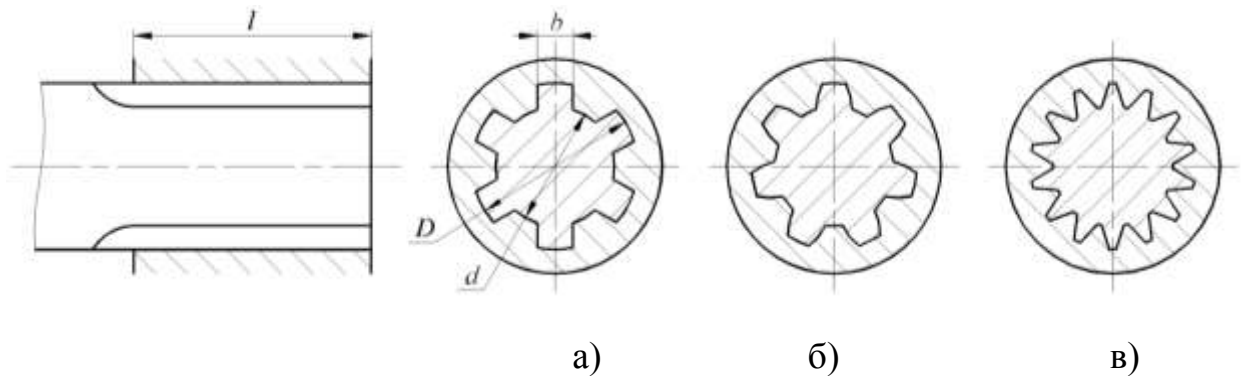
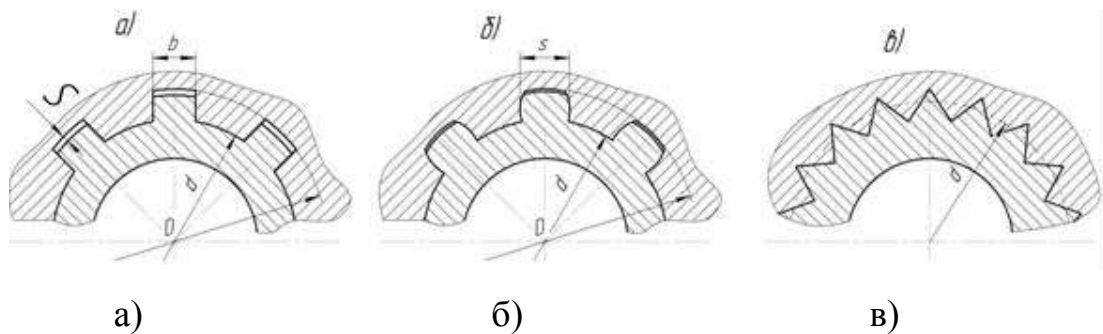


Рис.1.5. Види шліцевих з'єднань: а) прямобічні, б) евольвентні, в) трикутні



1.6. Способи центрування шліцевих з'єднань.

Прямобічні шліці (ГОСТ 1139-80) (рис. 1.6. А) просто форма шліца. В більшості випадків виготовлення таких шліців, їх центрують по зовнішньому діаметру (близько 80%), центрування по внутрішньому діаметру застосовується не так часто через більш складні форми западини між зубами (потрібно робити канавку біля основи зуба для зменшення напружень).

Центрування по бокових стінках зубів, буде не точне центрування, але забезпечить більш рівномірний розподіл навантаження між зубами і застосовується для високонавантажених валів.

Евольвентні шліці (ГОСТ 6033-80) (рис. 1.6. Б) мають профіль аналогічний профілю зубів зубчастих коліс. Більш надійніші шліці через більшу кількість зубів, більш широкого підстави зуба і меншою концентрацією напружень.

Евольвентні шліци більш технологічні. Щоб нарізати шліци евольвентного профілю треба менший набір більш простих фрез, чим для нарізання прямибічних шліців, через що евольвентні шліци виходять точнішими. Але для протягуванн, дорожчі і важчі у виготовленні евольвентні шліци.

Трикутні шліци (рис. 1.6. В) - як правило, нерухомі. Кут профілю в вершині  $36^\circ$ . Такі з'єднання виготовляють із centruванням тільки по бічних сторонах зубців. Ці з'єднання не стандартизовані і використовуються як нерухомі при тонкостінних втулках і обмежених габаритних розмірах за діаметром.

Коли вибирають спосіб centruвання беруть величину і характеристику навантаження з'єднання. Шліцеві з'єднань, зносостійкість робочої поверхні (бічних граней) можна збільшити підвищенням твердості, гартуючи робочу поверхню шліців до високої твердості. Після гарту виникає викривлення форми шліца, це спотворення можна виправити тільки шліфуванням, яке в деяких випадках неможливе. Шліфування Зовнішніх шліцевих валів по діаметру  $D$  виконати легко; шліфувати отвори в маточинах по діаметру  $d$  і бічні грані зубів шліцевих валів, складніше; неможливо шліфувати бічні грані шліців і западини між шліцами по діаметру  $D$  у маточин.

Більш складним у виготовленні і в одночас найбільш є з'єднання, де вал і маточина після нарізки зубів загартовані до високої твердості. Для отримання необхідної точності маточини і вала потрібно центрувати по діаметру  $d$ . Більш простим але менш надійним, у виготовленні є з'єднання, де отвір маточини не загартований, можна виконати остаточно протягуванням, вал з нарізаними зубами гартується і шліфується по зовнішньому діаметру  $D$ . У цьому випадку centruвання здійснюють по діаметру  $D$ . І найпростіше у виготовленні, менш надійне centruвання по бокових поверхнях зубів. Застосовують в тихохідних механізмах при великих обертаючих моментах. Вал і маточина в цьому випадку не загартовані і зуби на них остаточно



нарізають (простягають) без шліфування.

Більше перспективні сполуки з евольвентними зубами (шлицами). Їх виконують з центруванням по бічних, робочих поверхнях або по зовнішньому діаметру; найбільш поширений перший спосіб центрування через простоту його отримання. Профіль евольвентних шліців окреслюється, як і профіль зубів евольвентних зубчастих коліс, окружністю вершин, окружністю западин і евольвент з кутом зачеплення  $30^\circ$  (у зубчастих коліс  $20^\circ$ ) при зменшеній висоті зуба  $h = m$  (у зубчастих коліс  $h = 2,25m$ ). Розміри евольвентних шліців визначаються по ГОСТу 6033-88.

Шліцьові з'єднання трикутного профілю використовують не так часто при обмежених габаритах в радіальному напрямку. Шліцьові з'єднання трикутного профілю центрують по бічних сторонах зубів. Розміри шліців трикутного профілю встановлені галузевими стандартами і нормами. В основному їх застосовують в кінематичних (приладових) механізмах.

В авіаційних зубчастих передачах і редукторах застосовують переважно евольвентні шліцьові з'єднання з кутом профілю  $30^\circ$ , геометричні параметри яких регламентуються, в основному ГОСТ 6033-80, СТ РЕВ 269-76. Він поширений на з'єднання з модулем від 0,5 до 3,0 (0,5; 0,8; 1,0; 1,25; 1,50; 2,00; 2,50; 3,00) і числом зубів від 8 до 65 (8, 10, 11, 12 і далі через 2 до 64). В авіаційних передачах передбачено центрування по бічних сторонах зубів (рис. 1.7) і по і по зовнішньому діаметру (рис.1.8).

Трикутні шліцьові з'єднання передають незначні крутний момент, в силу того, що застосовуються з модулем 0,2 1,5мм. Найбільш часто застосовуються параметри з'єднань: число зубів 20-70; модуль; кут западин вала  $90^\circ$ ;  $72^\circ$  і  $60^\circ$ . Однак, відсутність стандартів на трикутні шліцьові з'єднання призводить до того, що застосовують в промисловості з'єднання і з іншими параметрами.

В силу геометричної форми з'єднання центрування можливо тільки по бічних сторонах зубів. Спочатку ці сполуки знайшли застосування замість



посадок з натягом і при сполученні тонкостінних валів і втулок, де істотна висота зубів не дозволяє застосовувати прямобочніе і евольвентні з'єднання. Сьогодні, з впровадженням нових матеріалів і технологій, спектр застосування трикутних шліцьових з'єднань істотно розширився, і вони застосовуються для розбірних і рухомих сполук.

При виготовленні трикутних шліцьових з'єднань застосовують нарізування черв'ячними фрезами, зовнішнє і внутрішнє протягування. Застосовується кут ухилу западини  $1^\circ 37'$  і конусність 1: 16. Розміри зубів кінцевого з'єднання нормують за великим основи конуса.

Практично єдиним методом обробки фасонних отворів є протягування. Однак протягання є одним з найбільш металомістких, трудомістких і дорогих інструментів.

### ***1.2. Способи протягування внутрішніх шліцьових поверхонь.***

Протяжка - це інструмент, за допомогою якого виконується обробка металу протягуванням (одна з найбільш поширених технологічних операцій з обробки металів різанням). Така технологія застосовується для деталей, які використовуються в багатьох галузях промисловості.

Протягування шліцьових внутрішніх поверхонь можливо двома способами, рис.1.7 [3, 9]:

- роздільним, спочатку обробляється внутрішній діаметр чистово (не виключаючи і круглої протяжки), і після чого нарізають шліци;
- комбінованим, за один прохід обробляється внутрішній діаметр і шліци.

Комбінован шліцева протяжка це інструмент який використовують при комбінованому методі, завдяки цьому інструменту забезпечується більш висока продуктивність праці, і якісні шліцьові отвори.

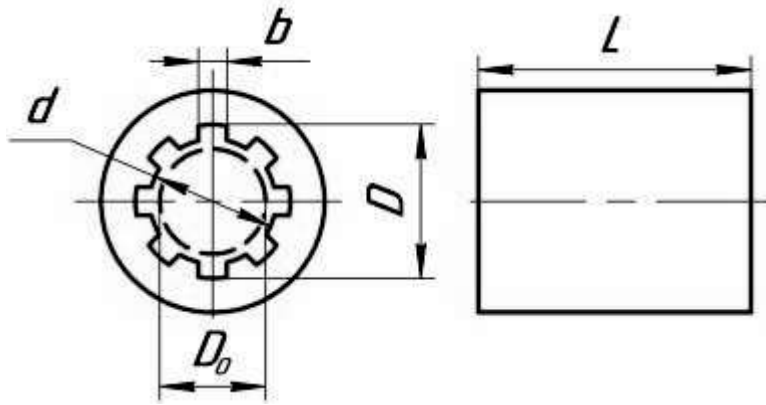


Рис.1.7. Шліцева втулка.

На малюнку 1.7 зображена шліцева втулка, де зовнішній діаметр шліцевого отвори  $D$ , мм; внутрішній діаметр шліцевого отвори  $d$ , мм; число шліців  $n$ ; ширина шліца  $b$ , мм; довжина протягування  $L$ , мм

Є три основні частини з яких складається ріжуча комбінована шліцева протяжка: шліцевої (для обробки шліців), круглої (для обробки круглого отвору) і фасочної (для обробки фасок біля основи шліців). Кожна частина протяжки (фасочна, кругла, шліцева) утворює певну поверхню шліцевого отвору.

Круглі зуби шліцевих протяжок утворюють внутрішній діаметр шліцевого отвору. Є різні схеми розташування круглих зубів: (К-Ш-Ф, Ф-Ш-К, Ф-К-Ш) можуть бути розташовані між фасочними та шліцевими, перед ними, або позаду.

Для утворення шліца застосовують групову схему різання групами із двох зубів. Бокові вершини першого шліцевого зуба у групі мають фаски, ці фаски ктворюються як викружки радіуса із заднім кутом.

Фаскові зуби призначені для утворення фасок на кромках внутрішньої сторони шліців. Один фасочний зуб утворює одразу дві фаски на одному шліці.

Є такі типи шліцевих комбінованих протяжок, в залежності від виду ріжучої частини протягання:

- 1 тип - кругла і шліцьова частини;
- 2 тип - кругла, шліцьова і фасочної частини;
- 3 тип - шліцьова і кругла частини;
- 4 тип - фасочної, шліцьова і кругла частини;
- 5 тип - фасочної, кругла і шліцьова частини.

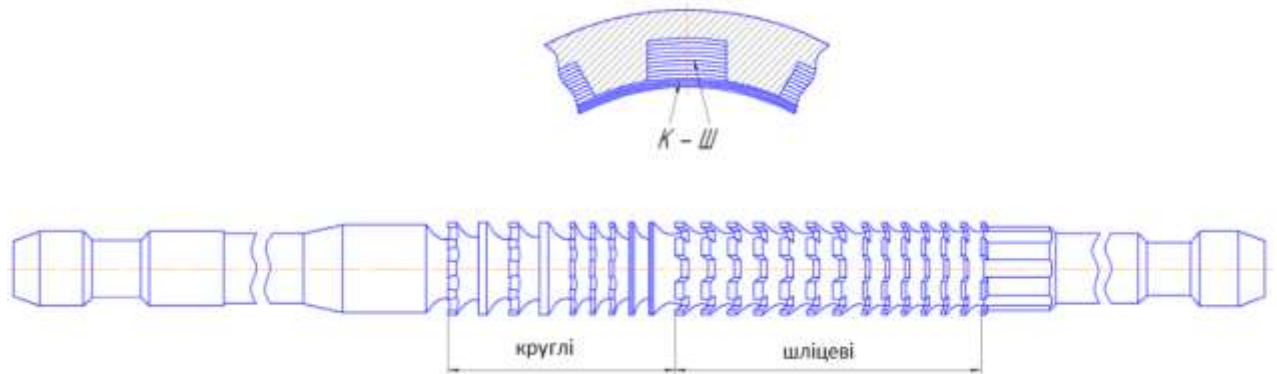


Рис 1.8 - Комбінована шліцьова протяжка 1 типу

Протяжка першого типу, на малюнку 1.8, складаються з двох частин: круглої і шлицевої. Кругла частина протяжки має чорнові, чистові і калібровані зуби. Чорнові зубці розташовані секціями (по два зуба в кожній секції). Перший зуб секції має стружкоділильні канавки розташовані в шаховому порядку, другий виконаний без викружок. Діаметр другого зуба на 0,04 мм менше діаметра першого. Чистові несекційних зуби мають підйом на кожен зуб і стружкоділильні канавки, розташовані в шаховому порядку. Калібрувальні круглі зуби не мають підйому на зуб. За конструкцією шлицьова частина протягання аналогічна круглої частини. Чорнові зубці розташовані секціями; перший зуб секції виконаний з викружками, другий - без викружок і з діаметром, зменшеним на 0,04 мм щодо діаметра першого зуба секції. Чистові шлицьові зубці так само розташовані секціями, як і чорнові, але з меншим підйомом на зуб в кожній секції. Останні два-три зуба чистової секції виконують без канавок. Протяжки першого типу забезпечують високу якість обробки шлицьових отворів в короткій деталі з

довжиною протягування ( $L$ ) від 10 до 30 мм, або пакету деталей з сумарною довжиною до 60 мм. Якщо велика довжина деталі, то можливий перекосу деталі.

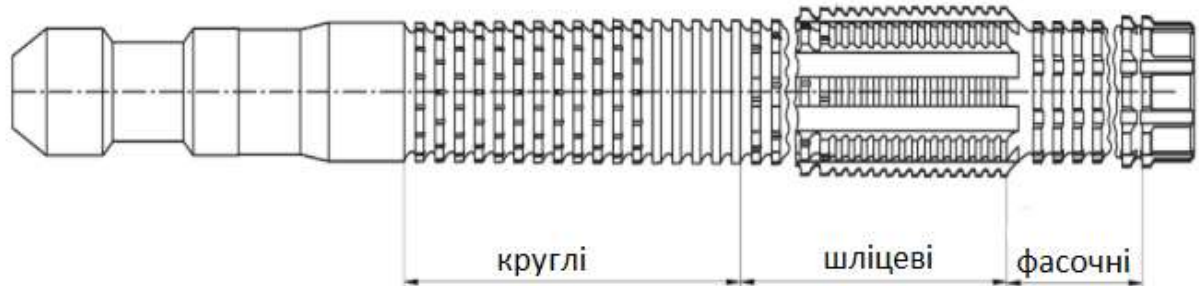


Рис 1.9 - Комбінована шліцева протяжка 2 типу

Протяжка другого типу, наведені на рис 1.9, аналогічні за конструкцією протяжок першого типу, але є ще додатково фасочні зуби, які є чорновими і без стружкоділильних. Крок між останнім шліцевим зубом і першим фасочною слід приймати рівним  $s = 16-20$  мм, що необхідно для вільного виходу шліфувального круга, який займається обробкою шліцеві зубці. Форма задньої направляючої - фасочною. Протягання другого типу забезпечують більш високу якість обробки шліцевих отворів при довжині отвору, що простягається ( $L$ ) від 24 до 30 мм.

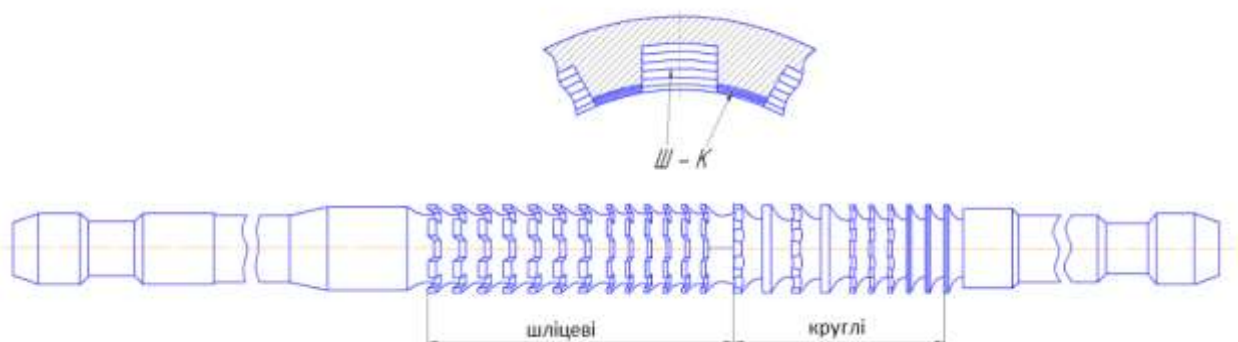


Рис 1.10 - Комбінована шліцева протяжка 3 типу

Протягання третього типу, наведені на рис 1.10, по конструкції

шліцьовій частини аналогічні конструкції цієї ж частини протяжок першого типу. Спочатку зрізається припуск шліцевими зубами, а потім круглими.

Круглі зуби протяжки зрізають припуск тільки на циліндричних ділянках отворів, тому їх виконують односекційними і без канавок зі збільшеним підйомом на кожен зуб. Виготовлення круглих зубів у протяжок спрощується.

При обробці протяжками цього типу отримують необхідну якість шліцьових отворів, число одночасно працюючих зубів не менше п'яти і при підготовці отвору перед протягуванням чистовим розточування. Якщо деталь коротка, можливий її перекус в момент переходу протягання з останніх шліцьових зубів на перші круглі зуби, особливо при грубої підготовці отвори. Щоб уникнути пошкодження леза першого круглого зуба шліфувальним кругом на виході при шліфуванні бічних сторін шліцьових зубів між шліцьовими і круглими зубами передбачають збільшений крок більше 16 мм.

Форма задньої направляючої - круга. Протягання третього типу забезпечують високу якість поверхні шліцьових отворів при довжині отвору, що простягається від 30 до 45 мм.

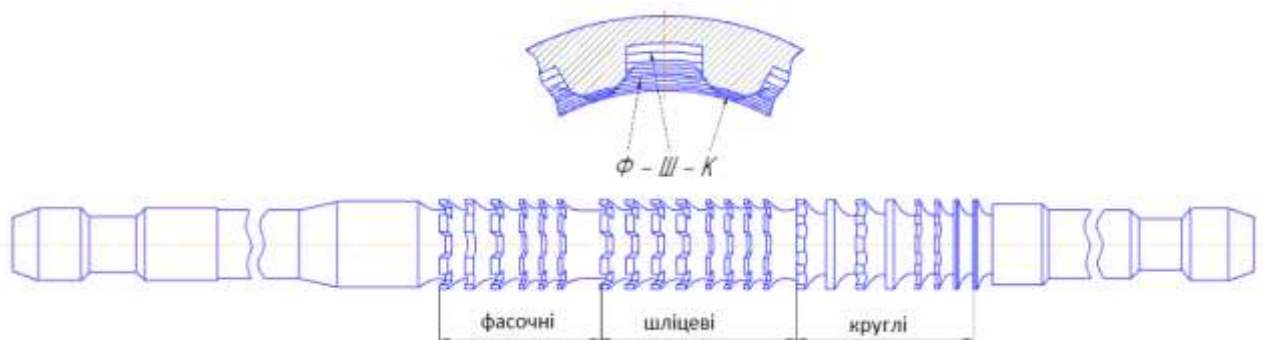


Рис 1.11 - Комбінована шліцьова протяжка 4 типи

У протяжках четвертого типу, наведених на рис 1.11, передбачені фасочні чорнові зуби, розташовані на початку протяжок. Цими зубами

утворюється фаска біля основи шліца в отворі і зрізається значна частина припуску шліцьових зубів. Довжина шліцьовій частини протягання зменшується, що дозволяє значно підвищити точність. Чорнові зуби фасочної частини, а також чорнові і чистові зуби шліцьовій частини мають стружкоділильні канавки. Круглі зуби виконують без стружкоділильних канавок. Форма задньої направляючої - круга.

Фасочні зуби групують в двохзубі секції. Конструкція цих зубів аналогічна конструкції шліцьових зубів. Бічний профіль у фасочного зуба шліфується на прохід.

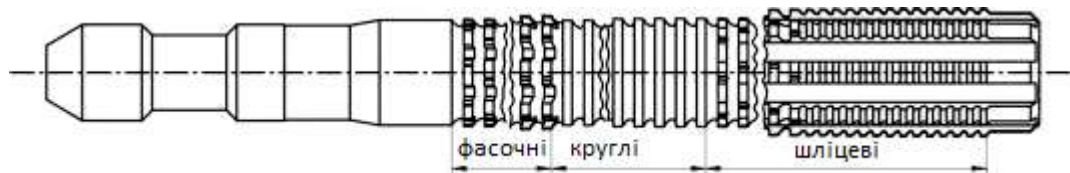


Рис 1.12 - Комбінована шліцьова протяжка 5 типу

Протяжка п'ятого типу, наведені на рис 1.12, має послідовно розташовані фасочні, круглі і шліцьові зубці. При такому розташуванні не потрібне застосування збільшеного кроку між групами зубів. Протягування такою протяжкою надійна, якщо довжина заготовки в якій потрібно зробити шліци більше 45 мм. Конструктивне оформлення окремих груп зубів означає групування зубів протяжок четвертого типу. Форма задньої направляючої - шліцьова.

На рис 1.13 зображена установка комбінованої протяжки на протяжні верстати.



Рис.1.13. Установка протягання на горизонтально протяжні верстаті.

У протягуванні отворів беруть участь вироби, виготовлені з таких матеріалів, як інструментальна і швидкоріжуча сталь, тверді сплави. У конструкції може бути присутнім конус перехідний і шийка, які разом з хвостовиком, є приєднувальними елементами. Вони спрощують введення протяжки в заготовку. Цей інструмент у протяжок важких і довгих може мати опорну цапфу, що служить для підтримки за допомогою люнета, щоб не допустити прогину інструменту в процесі виконання операції протягування.

Шліцьові отвори і канавки утворюються зубами ріжучого інструменту, які мають необхідну конфігурацію різальних кромek. Вона являє собою дугу окружності, яка в процесі роботи по отвору знімає стружку відразу по всьому перетину.

Виготовлятися цей затребуваний вид протягання може з цільного шматка металу або бути складовим.

Для виконання операції протягування шліцьовими протяжками використовуються верстати як загального призначення, так і вузькоспеціалізовані. Вони можуть відрізнятися за рівнем автоматизації (з числовим програмним пристроєм і без нього), напрямку руху робочого інструменту (горизонтально і вертикально-протяжні), кількістю кареток (одно- і многокареточние), кількості позицій (одно- і багатопозиційні).

Тому при високих вимогах до шорсткості поверхні застосовують комбінований метод утворення поверхні, який полягає у тому, що попереднє профілювання поверхні виконується послідовним методом, а останні два-три різальних і калібрувальних зуби зрізують шар по всьому контуру оброблюваної поверхні, тобто працюють за методом подібності. Тим самим усуваються недоліки послідовного і профільного методів.

### ***1.3. Ефективність операції протягуванням.***

Особливістю протягування можна назвати, що форма і розмір фасонного отвора робочої частини протяжки визначаються конструкторсько-технологічними. Протягування шліцевих отворів на задані величини ніяк не буде точним, якщо немає точності всіх зубів протяжки, тобто точність обробки залежить від точності всіх зубів протяжки, (рис.1.14).



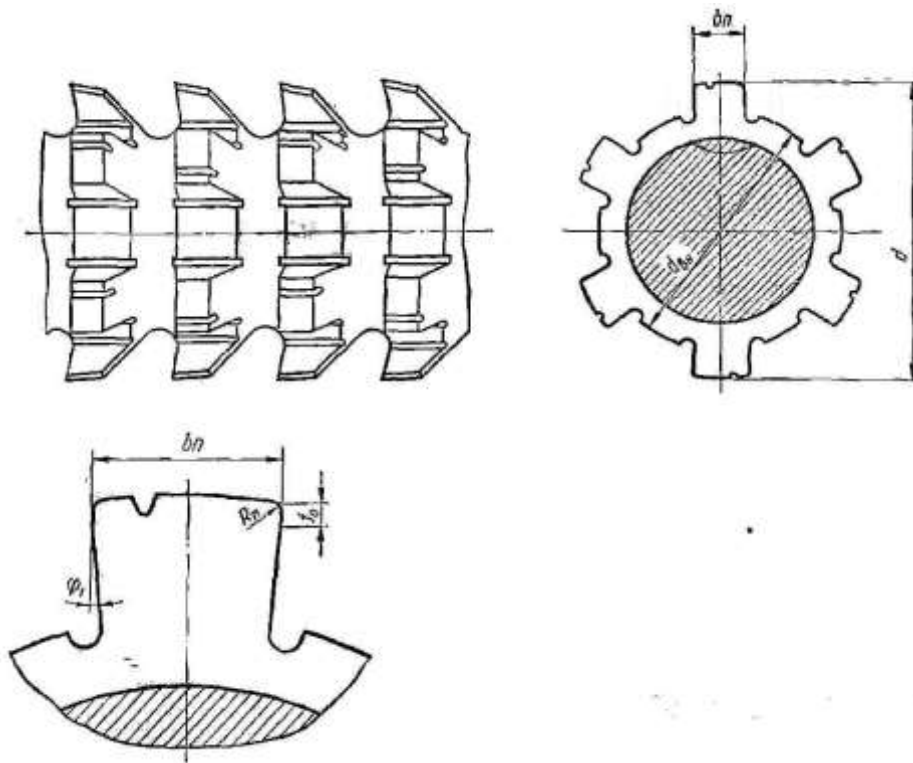


Рис. 1.14. Зуби шліцевої протяжки.

Задній кут нульовий або малый на бокових ріжучих кромках. Коли обробляється мала глибина канавок до 1,5 мм, тоді відсутній задній кут на бокових поверхнях зубів то немає суттєвого впливу на процес протягування. Якщо оброблювана глибина канавок більша за 1,5 мм відбувається тертя бокових стінок на яких немає задніх кутів, може збільшитись зусилля при протягуванні яке негативно впливатиме на якості отриманої поверхні деталі. Це призводить до зменшення надійності інструмента яке в свою чергу призводить до погіршення якості оброблюваної поверхні деталі, а саме задирів.

Наявність стрічки з нульовим заднім кутом на зубах протяжки значно впливає на збільшення сил тертя зуба об оброблену поверхню і також на збільшення сил різання. Тому ріжучі зуби рекомендується заточувати до вістря, а для полегшення процесу заточення рекомендується залишати фаску шириною не більше 0,02-0,03 мм.

Коли третя бокова поверня зуба об поверхню деталі, зусилля

протягування збільшується і нагрівається протяжки з деталлю, і можливе приварювання стружки до передньої частини зуба протяжки. Якщо зуби зношуються то вони можуть вийти за межі допуску протяжки.

Що відбувається завдяки тертю бокових поверхонь зубів протяжки:

- Відбувається вібрація протяжки (гудіння, скрип), великий нагрів деталі і протяжки, викривлення геометрії деталі, важка робота і навіть зупинка станка;
- Відбувається відхилення даного розміру оброблюваної поверхні за межі допустимих;
- Відбувається заплітання зубів на раді зубів або в деяких випадках викришування різальної кромки;
- Відбувається приварювання стружки до передньої поверхні зубів протяжки.

У профільних протяжок, коли на зрізувальній стружці виходить ребро жорсткості від стружкорозділювача попереднього зуба, це перешкоджає згортанню стружки в валик, коефіцієнт заповнення на 25% більше, ніж для групових протяжок, де він змінюється від 2,5 до 3,3.

При визначенні кроку зубів протяжки, крім рекомендацій, пов'язаних з вибором розміру і форми канавок, необхідно враховувати наступні вимоги. Геометричні параметри ріжучих елементів зуба повинні забезпечувати максимальну стійкість протяжки. Зуб повинен бути досить міцним, щоб не руйнуватися під впливом згинального тангенціального сили різання.

Стойкість протяжки залежить від її матеріалу, матеріалу заготовок і вихідного виду їх поверхні, геометрії зуба, охолодження.

### **Висновки.**

Протяжка має значну перевагу перед інструментами інших видів. Вони

є самими продуктивними інструментами, приблизно в сто раз продуктивніші за зенкер, розвертку. При протягуванні об'єднуються такі операції як чорнова, напівчистова і чистова обробка. Це підвищує продуктивність, зменшує число станків і технологіній оснастці. Точність обробки і квалітет  $R_a=2,5 - 0,32$  мкм. Процес протягування легко автоматизувати і вписати в автоматичну лінію, що дуже важливо при масовому і великосерійному виробництві, а в ряді випадків, як наприклад, при обробці шліцьових отворів, протягування є найбільш доцільним способом обробки.

Переваги протягування: Висока продуктивність процесу. Досягається при низькій швидкості головного руху ( $V = 2 \dots 12$  м / хв) за рахунок високої відносної швидкості зняття припуску, яка забезпечується одночасною участю в роботі декількох зубів. Точність обробки не нижче 7 квалітету. Висока якість оброблюваних поверхонь. Значна стійкість протяжок. Усунення браку. Можливість використання робітників низької кваліфікації. Скорочення витрат на експлуатацію інструменту.

При обробці шліцьових отворів добре зарекомендували себе протяжки, виконані за різними варіантами груповий схеми резання, наявність двох зубів в секції. Першим, або прорізним, зубом, довжина головного леза якого більше половини ширини шліца, зрізається основна частина припуску. Ріжучі ділянки створені за допомогою затилованих фасок, викружок або лисок. Другим (зачисним) зубом зрізається метал з двох сторін тільки в куточках.

На вузьких ділянках шириною 0,5-2 мм і остаточно формуються шліци по ширині. Для запобігання від зрізання стружки зачисним зубом по всій ширині шліца діаметр його робиться, як правило, на 0,04 мм менше діаметра прорізного зуба. Крім того, кути прорізних зубів мають сприятливу геометрію. До того ж зрізується не по всій ширині шліца стружка не має тертя об бічні сторони шліців і вільно завивається в канавці двохрадіусної форми. Полегшується також відведення вузької стружки, що зрізується куточками зачисного зуба, що має досить малі бічні фаски (до 0,6-0,8 мм).

Тому можна значно збільшити товщину шару, що зрізається кожним зубом, в результаті чого зменшиться довжина протягання.

Протягання особливо широко застосовуються в авіаційній, автотракторної та верстатобудівної промисловості. Наприклад, сучасний автомобільний завод використовує до 1000 типів протяжок. Вони широко використовуються при обробці отворів під поршні, шатунів, шліцевих отворів з різноманітною формою шліца (прямокутних, трикутних, евольвентних), а також різних спеціальних отворів і пазів, шпонкових канавок, траків гусениць, отворів шестигранних ключів зубчастих коліс і муфт внутрішнього зчленування. Протягування застосовується і в загальному машинобудуванні і при виробництві деталей швейних машин, велосипедів, мотоциклів, деталей обладнання харчової.

Складні конструктивні елементи, висока трудомісткість виготовлення, протяжного інструменту, зношуючись у процесі експлуатації, переносить вартість свого виготовлення на оброблювані деталі і стає частиною виробничо-технологічної системи, що визначає ефективність операції протягування. Операція протягування не вимагає великих затрат, а практично всі витрати тільки на інструмент, проблема підвищення її ефективності зводиться до проблеми техніко-економічної ефективності самої протяжки, які залежать від відповідності обраних методів проектування і виготовлення протяжки, а також методів корекції профілю стандартної протяжки, тому розробка і дослідження більш досконалих і альтернативних методів проектування, способів виготовлення і корекції є актуальним завданням.

#### Ціль роботи .

Удосконалення способів конструкторсько-технологічного забезпечення виконавчих параметрів шліцевих протяжок, що підвищують їх надійність і ефективність.

Для досягнення поставленої мети використовується геометрична модель процесу шліфування бічних поверхонь шліцьових зубів.

## ***2 Підвищення ефективності операції протягування шліцьових отворів***

### ***2.1. Шляхи підвищення ефективності операції протягування шліцьових прямих отворів***

Розрахунок почати з вибраного матеріалу заготовки, визначити групу оброблюваності матеріалу і відповідної групи якості обробленої поверхні. Тому що це впливає на задану форму і геометричні розміри виробу при протягуванні. Потрібно розрахувати число зубів, щоб була відповідна плавність ходу роботи. Матеріал різальної частини протяжки вибирається в залежності від оброблюваного матеріалу, його фізико-механічних властивостей, типу протяжки, характеру виробництва. Обираю протяжку виготовлену зі швидкорізальної сталі.

Для конструкції комбінованої протяжки потрібно правильне поєднання різних елементів і параметрів: розподіл підйому зубів уздовж ріжучої частини, числа зубів в секції, кроку і величини заглиблень зубів, матеріалу ріжучої і хвостових частин, і т.д. Для забезпечення нормальної роботи протяжки без вібрацій та задовільної якості обробленої поверхні одночасно в роботі повинно знаходитись чотири-п'ять зубців. При обробці коротких втулок припустимо, щоб в роботі одночасно знаходилося не менш двох зубців. Але кількість одночасно працюючих зубців не повинна перевищувати вісім штук. Тому розраховане значення кроку зубців необхідно перевірити на виконання цієї умови.

При проектуванні комбінованих протяжок можна отримати багато варіантів. Оцінювати варіанти можна по таких критеріях: довжина протяжки, підйом на зуб, оптимального розташування стружки, завантаження протяжки на різних групах зубів.

В даній операції (протягування шліцьового отвору) виникають

несприятливі моменти для використання ріжучого інструменту. Виникають великі зусилля, в матеріалі який оброблюють різанням (при протягуванні) де й виникають небезпечні осередки напружень і деформацій. Якщо виникають перевищення деяких значень, може деформуватись (розтягнутись) протяжка, можлива й поломка її (розрив), тому використовувати її небажано ( тому що виникають похибки при обробці), або й неможливо використати протяжку.

Для того, щоб у процесі роботи не відбулося розриву протяжки, необхідно зробити її перевірку на міцність по небезпечному перетину. Небезпечним перетином протяжки є той, у якому її діаметр мінімальний. У залежності від розмірів оброблюваної втулки небезпечним може бути перетин, що проходить через мінімальний діаметр хвостовика, або перетин, що проходить по западині першого зубця. Необхідно перевірити виконання двох умов: умова відсутності небезпеки розриву протяжки по хвостовику, умова відсутності небезпеки розриву протяжки по западині першого зубця.

Протягування шліцьових отворів на заданий профіль за схемою, точність деталі залежить від точності всіх зубів протяжки. Зазвичай на допоміжних ріжучих кромках залишають з дуже малим або нульовим заднім кутом. Ці дії призводять до зменшення надійності протяжки і якість деталі погіршуватиметься.

Щоб були необхідна якість обробки, потрібно забезпечити необхідною умовою ефективності операції. Показниками якості шліцьових отворів є шорсткість і точність форми.

Складні конструктивні елементи, висока трудомісткість виготовлення, протяжного інструменту, зношуючись у процесі експлуатації, переносить вартість свого виготовлення на оброблювані деталі і стає частиною виробничо-технологічної системи, що визначає ефективність операції протягування. Операція протягування не вимагає великих затрат, а практично всі витрати тільки на інструмент, проблема підвищення її ефективності

зводиться до проблеми техніко-економічної ефективності самої протяжки, які залежать від відповідності обраних методів проектування і виготовлення протяжки, а також методів корекції профілю стандартної протяжки, тому розробка і дослідження більш досконалих і альтернативних методів проектування, способів виготовлення і корекції є актуальним завданням.

## 2.2. Коригування внутрішньої шліцьовій протяжки.

В цілях підвищення періоду стійкості шліцьових протяжок їх зуби виконують із допоміжним кутом в плані (внутрішня фаска). Для цього їх шліфують в нахиленому положенні, піднявши задній хвостовик по відношенню до переднього (рис 2.1)[1].

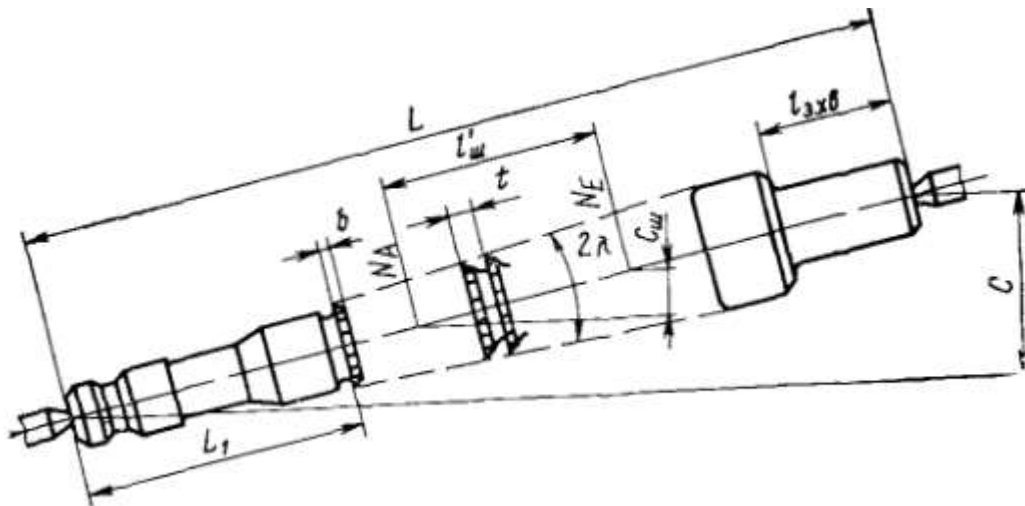


Рис.2.1 Положення протяжки при шліфуванні бокового профіля з піднятим заднім центром.

В результаті цього профіль прямобічних і фасонних зубів в поперечному січенні змінюється відносно профіля шліцьового паза деталі. Цей змінний профіль називають коригуванням.

Задався допоміжний кут в плані  $\varphi_1$ , розраховується підйом заднього центру С і кут профіля западини шліцьових зубів протяжки і шліфувального круга  $2\varphi_k$ .



Підйом осі протяжки  $C_{ш}$  (чорнових шліцьових зубів) і  $C_{ф}$  (фасочних зубів) розраховують для відповідних ділянок протяжки, на який зуби мають постійний підйом і крок, і вершини їх лежать на одній видуманій конічній поверхні. Така ділянка, бере участь в розрахунках профіля, будемо в подальшому називати розрахунковим[1].

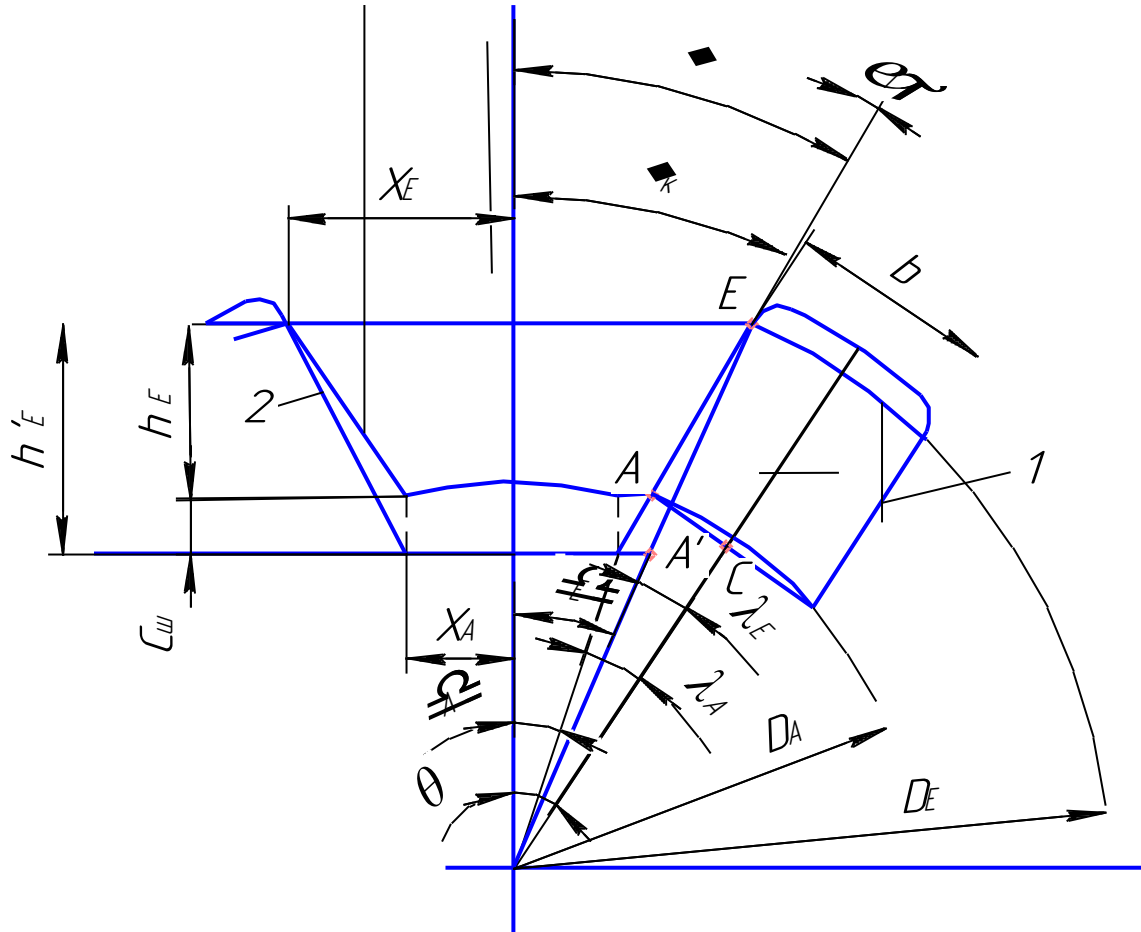


Рис 2.2 Поперечне січення прямобічного шліцьового паза: 1-вихідний профіль паза; 2- коригований профіль останнього розрахованого зуба і абразивного круга.

Профіль перехідних, чистових і каліброваних шліцьових зубів, не беруть участь в розрахунку, получає не велике спотворення. Но так як в пазу в місці переходу бокового профіля в дно впадини передбачений радіус , а на валу – фаска, то невеликий припуск, який зрізає перехідними і чистовими зубами,

припадає на цей неробочу частину паза. Фасонні зуби - тільки чорнові, і в формуванні профіля фаски беруть участь всі ці зуби.

Розрахунок профіля шліцевих зубів відрізняється від розрахунку профіля фасочних зубів і виконується окремо.

*Розрахунок профіля шліцевого прямобічних зубів.* Розрахунок профіля шліцевих прямобічних протяжок полягає в визначенні підйому осі протяжки на розрахунковій ділянці (останнього зуба відносно першого)  $C_{ш}$ , коригованого кута профіля западини шліцевого зуба і абразивного круга  $2\varphi_k$ , і величини підйому заднього центра С на довжину протяжки L.

Для розрахунку профіля із таблиці діаметрів зубів визначають номер першого  $N_A$  і останнього  $N_E$  чорнових зубів на розрахунковій ділянці довжиною  $l'_{ш}$ , радіуси цих зубів  $R_A$  і  $R_E$ . Другими вихідними даними для розрахунку являються номінальні розміри шліцевого паза b, число шліців z, крок чорнових зубів в оптимальному варіанті  $t_0$  і допоміжний кут в плані  $\varphi_1$ , величиною якого задають в межах 2-3°[1].

Формули для розрахунку виводяться з рис 2.1 і рис 2.2.

$$\sin \lambda_A = \frac{b}{D_A} ; \sin \lambda_E = \frac{b}{D_E} ; \quad (2.1)$$

$$\delta_A = \frac{180}{z} - \lambda_A ; \delta_E = \frac{180}{z} - \lambda_E ; \quad (2.2)$$

$$h_E = R_E \cos \delta_E - R_A \cos \delta_A ; (R_E = \frac{D_E}{2} ; R_A = \frac{D_A}{2}) ; \quad (2.3)$$

$$\omega = \theta - \frac{180}{z} ; \quad (2.4)$$

$$\omega_K = \omega - \varphi_1 ; \quad (2.5)$$

$$C_{ш} = \frac{h_E(tg\omega - tg\omega_K)}{tg\omega_K} ; \quad (2.6)$$

$$l'_{ш} = t_0(N_E - N_A) ; \quad (2.7)$$

$$C = \frac{C_{ш}L}{l'_{ш}} ; \quad (2.8)$$

Де  $\lambda_A$  і  $\lambda_E$  – кути між осями симетричного шліцевого паза деталі і радіуси, проведені в точку А і Е із центра О;



значення. Кут фаски на деталі  $\beta_\Phi$  незалежно від заданого креслення після протяжки буде відповідати значенню.

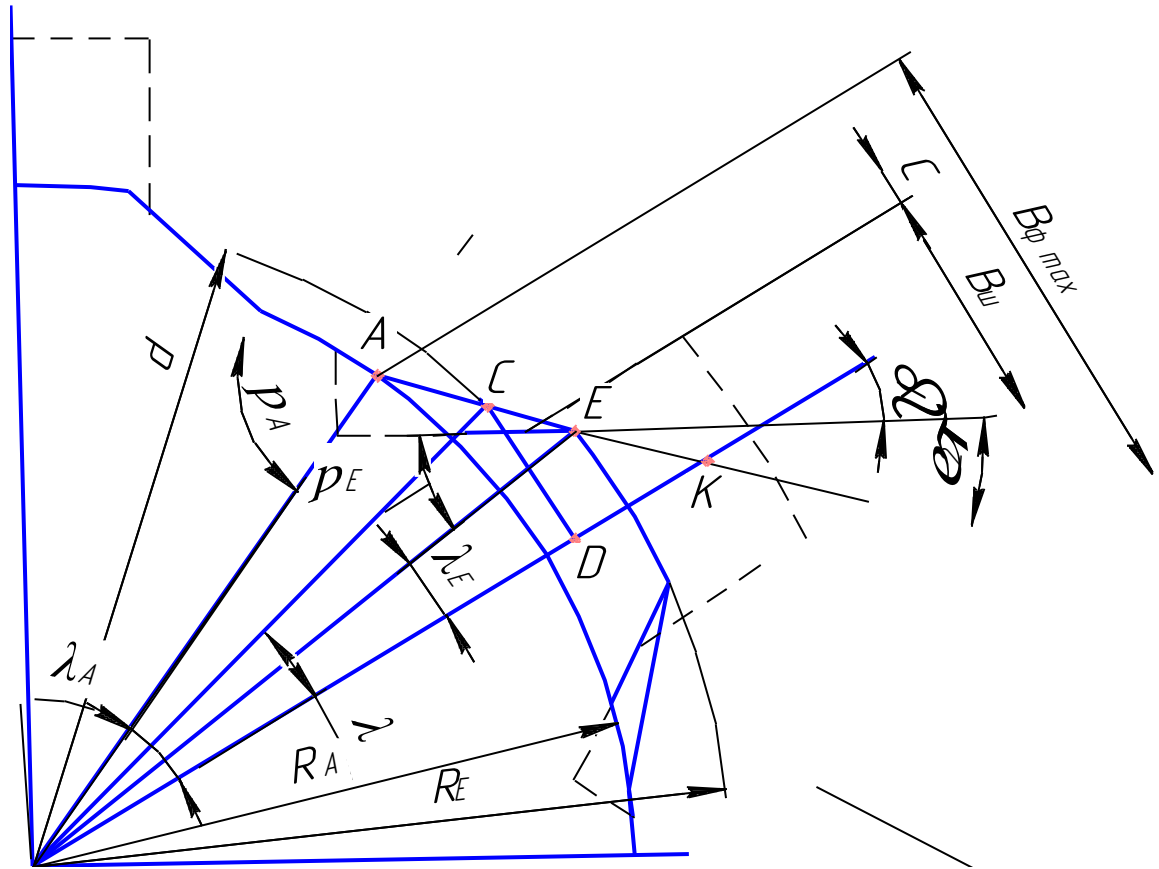


Рис 2.4 Поперечне січення отвору з фасонними пазами і перший і останній, фасонних зубів.

Шліфування фасонних зубів з піднятим заднім центром може виконуватись двома способами:

- 1) Утворюючий (периферією) плоского прямого кута – задній центр піднімається в напрямку стрілки В (рис 2.3);
- 2) Профільним кутом – задній центр піднімається в напрямку стрілки F (рис 2.4).

Формули для розрахунку підйому осі протяжки на розрахунковій ділянці  $C_\Phi$  і розміри  $H_A$  і  $H_B$  при шліфуванні фасонних зубів периферією прямого

круга виведені із побудованих рис 2.3 і 2.4.

Послідовно розрахунок  $C_\Phi$  при шліфуванні профіля периферією прямого круга слідуючі:

$$\sin \lambda = \frac{b+2C}{d} ; (2.9)$$

$$\sin \rho_A = \frac{d \sin(\lambda + \beta_\Phi)}{2R_A} ; (2.10)$$

$$\sin \rho_E = \frac{d \sin(\lambda + \beta_\Phi)}{2R_E} ; (2.11)$$

$$\lambda_A = \rho_A - \beta_\Phi ; \quad \lambda_E = \rho_E - \beta_\Phi ; (2.12)$$

$$H_A = R_A \sin(\beta_K + \lambda_A) ; (2.13)$$

$$H_B = R_E \sin(\beta_K + \lambda_E) ; (2.14)$$

$$C_\Phi = H_A - H_B ; (2.15)$$

$$B_{\Phi \max} = 2R_A \sin \lambda_A ; (2.16)$$

Де  $\rho_A$  і  $\rho_E$  – зовнішні кути косокутні трикутники відповідно ОАК і ОЕК (рис 2.4).

Величини  $l'_\Phi$  і  $C$  оприділяють по формулі (2.7) і (2.8), підставивши в них замість  $l'_\text{ш}$  величину  $l'_\Phi$ .

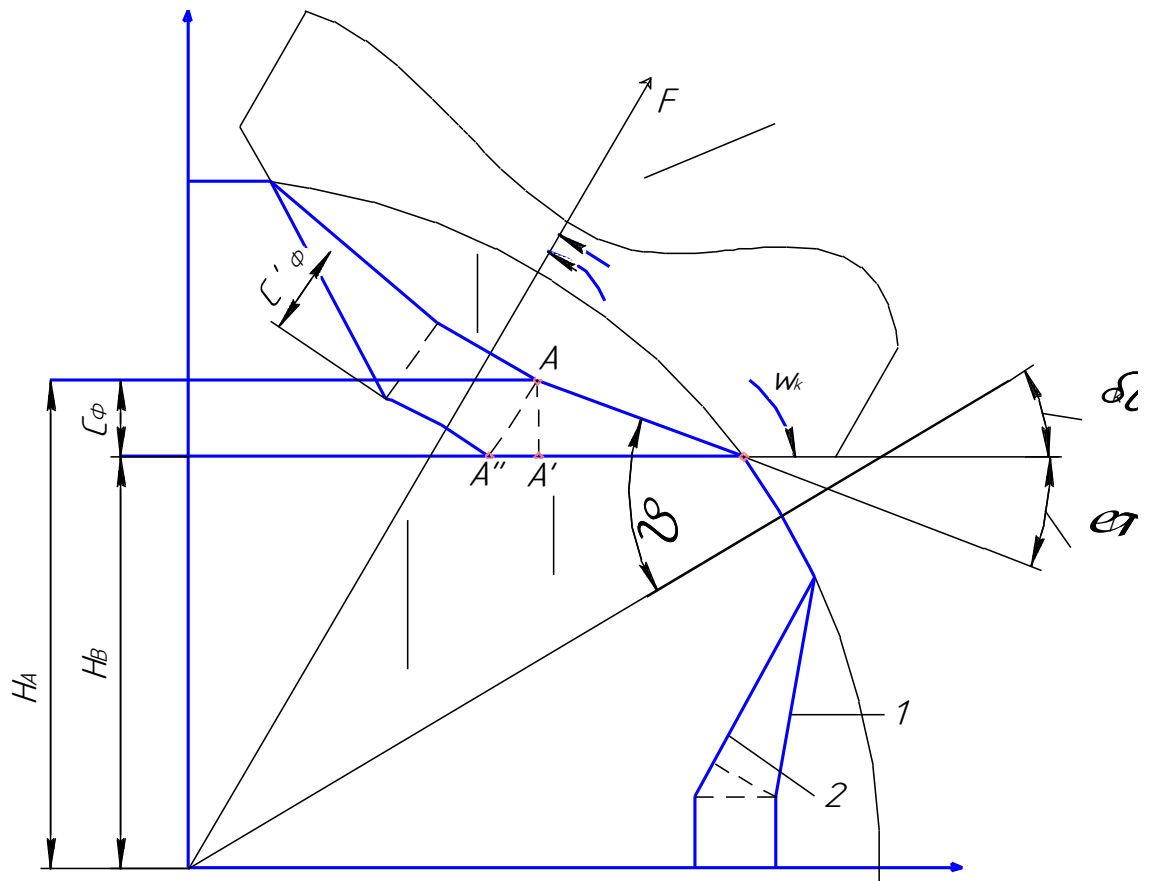


Рис 2.5 Схема шліфування бокового профіля фасонних зубів профіля шліфувальним кругом: 1 – вихідний профіль; 2 – коригувальний профіль останнього фасонного зуба.

Підйом осі протяжки на розрахунковій ділянці  $C'_\phi$  при шліфуванні профільним кругом розраховують по формулі

$$C'_\phi = \frac{H_A - H_B}{\sin \omega_K} ; \quad (2.17)$$

Формула виведена із побудови рис 2,5. В формулі (2.17) кут  $\omega_K$  вибирають по таблиці додатків в залежності від числа шліців  $z$ , розміри  $H_A$  і  $H_B$  вираховують по формулі (2,13) і (2.14),  $B_{\phi \max}$  - по формулі (2.16).

### 2.3. Визначення похибки бокових стінок прямобічних шліців.

Розташування рівномірних подач на зуби протяжки не в радіальному напрямку, а уздовж оброблюваного бокового профіля деталі являється

одночасно раціональним і в відношенні вирівнювання зусилля різання при протягуванні.

В даному випадку з зменшенням ширини знятої стружки збільшується її товщина, тобто подача на кожний зуб протяжки в радіальному напрямку виростає від зуба  $d$  і до зуба  $D$ .

На підставі проведених досліджень і зроблених висновків була розроблена нова схема точного розрахунку коригованих параметрів протяжки для обробки любых прямолінійних поверхонь.

Додатковими вихідними даними, необхідними для розрахунку трикутного профіля: кут профіля шліців  $\beta$ ; на окружність якого задана товщина шліца по дузі  $d_{cp}$ .





Із схеми корекції протяжки при шліфуванні профіля з піднятим заднім хвостовиком (рис 2.6) установлюють залежність між кутом бокового піднутріння (ніжки зуба)  $\delta$  і величиною підйому  $h$  зуба протяжки  $D$  відносно зуба  $d$ .

Половина центрального кута профіля западини протяжки в точці 2, відповідно діаметру  $d_{cp}$ , окружності якого задана товщина зуба (шліца) деталі, буде рівна:

$$\theta_2 = \frac{s}{d_{cp}}. \quad (2.18)$$

Відстань оброблюваного профіля  $AC$  від осі деталі (позначене  $H$ ) визначаються із трикутника  $ONB$ .

$$H = \frac{d_{cp}}{2} \sin \gamma_2. \quad (2.19)$$

Де кут  $\gamma_2$ , як видно з рис 2.6, виражається залежністю:

$$\gamma_2 = \beta - \theta_2.$$

Аналогічно кути  $\gamma_1$  і  $\gamma_3$  в точках 1 і 3 і відповідно їх центрами кути  $\theta_1$  і  $\theta_3$  будуть рівні:

$$\begin{aligned} \sin \gamma_1 &= \frac{2H}{d}; & \theta &= \beta - \gamma_1 \\ \sin \gamma_3 &= \frac{2H}{d}; & \theta &= \beta - \gamma_3 \end{aligned}$$

Необхідний для подальших розрахунків розміру довжини відрізка  $LC$  (позначаєм  $l$ ) може бути визначений із  $\triangle OEA$  і  $\triangle OKC$  як різниці відрізків  $KC$  і  $KL=EA$ . Відрізки  $KC$  і  $EA$  відповідно виражаються:

$$KC = \frac{D \sin \theta_3}{2} \quad EA = \frac{d \sin \theta_1}{2}$$

Отже:

$$l = KC - EA = \frac{D \sin \theta_3 - d \sin \theta_1}{2}; \quad (2.20)$$

Із  $\triangle ALC$  і  $\triangle AMC'$ , визначається відповідно сторони  $AL$  і  $AM$ :

$$AL = l \operatorname{ctg} \beta; \quad AM = l \operatorname{ctg} \beta_K;$$

Но, як видно з рис.2.6, відмінність відрізків  $AM$  і  $AL$  визначають

величину підйому  $h$  зубця протяжки  $D$  відносно зубця  $d$ . Отже, підйом зуба  $D$  відносно зуба  $d$  може бути виражене слідуючою залежністю:

$$h = AL - AM = l \operatorname{ctg} \beta - l \operatorname{ctg} \beta_K = l(\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \beta_K). \quad (2.21)$$

Підставляючи в вираз (2.21) значення коригування кута профіля протяжки, визначається як різниця кута профіля шліцьового і кута піднутріння:

$$\beta_K = \beta - \delta ; \quad (2.22)$$

Або після відповідних перетворень

$$h = \frac{l \sin \delta}{\sin \beta \sin(\beta - \delta)} = \frac{L \sin \delta}{\sin \beta_K} ; \quad (2.23)$$

де  $L$  – довжина бокового профіля шліца.

*Визначення похибки бокових стінок прямобічних шліців.*

Для виконання умови суміщення всіх вершин шліцьових зубів протяжки з протягувальним профілем деталі, відрізок  $AC=L$  (рис 2.6), виконується корекція діаметрів всіх зубів протяжки, розміщених між  $d$  і  $D$ .

Довжина бокового профіля шліца (відрізок  $AC=L$ ) визначається з  $\triangle ALC$ :

$$L = \frac{l}{\sin \beta} ; \quad (2.24)$$

Величина підйому поздовж лінії  $AC$  на кожний шліцьовий зуб протяжки від  $d+1$  до  $D$  знайдемо із виразу:

$$a_z = \frac{AC}{z-1} = \frac{L}{z-1} ; \quad (2.25)$$

Де  $z-1$  – кількість кроків від зуба  $d$  по зуб  $D$ .

Із  $\triangle OHA$  з радіус-вектором  $OA$ , переміщаються із точки 1 в точку 3 поздовж відрізка  $AC$  з кроком  $a_z$ , діаметр кожного зуба шліцьової частини протяжки, починаючи з  $d$  по  $D$  включно, виражаємо залежність:

$$d_n = 2\sqrt{H^2 + [HA + a_z(n-1)]^2} ; \quad (2.26)$$

Де  $n$  – порядковий номер зуба протяжки від 1-го, відповідно  $d$ , до  $z$ , відповідно зуба  $D$ ,  $HA$  – відрізок, визначається із  $\triangle OHA$  як:

$$HA = \frac{d \cos \gamma_1}{2}$$

Підставляючи значення  $HA$  в вираз (2,26), отримуємо кінцеву формулу визначення діаметрів шліцевих зубів протяжки:

$$d_{\pi} = 2\sqrt{H^2 + \left[\frac{d \cos \gamma_1}{2} + a_z(n-1)\right]^2} \quad ;(2,27)$$

#### ***2.4. Контроль розмірів профіля протяжки, по роликах.***

Контроль розмірів профіля протяжки по роликах розраховуються для зуба протяжки діаметра  $D$  (базовий зуб), а також (для контролю величини підйому заднього хвостовика протяжки) для зуба  $d$ . В останньому випадку (для можливості проміру) зуби протяжки  $d$  повинні попередньо виконуватись з зовнішнім діаметром, приблизно рівний  $D$ , який після останнього контролю параметрів профіля зі шліфується в розмір  $d$ .

Контрольні розміри по роликах визначаються наступним образом (рис 2,7).

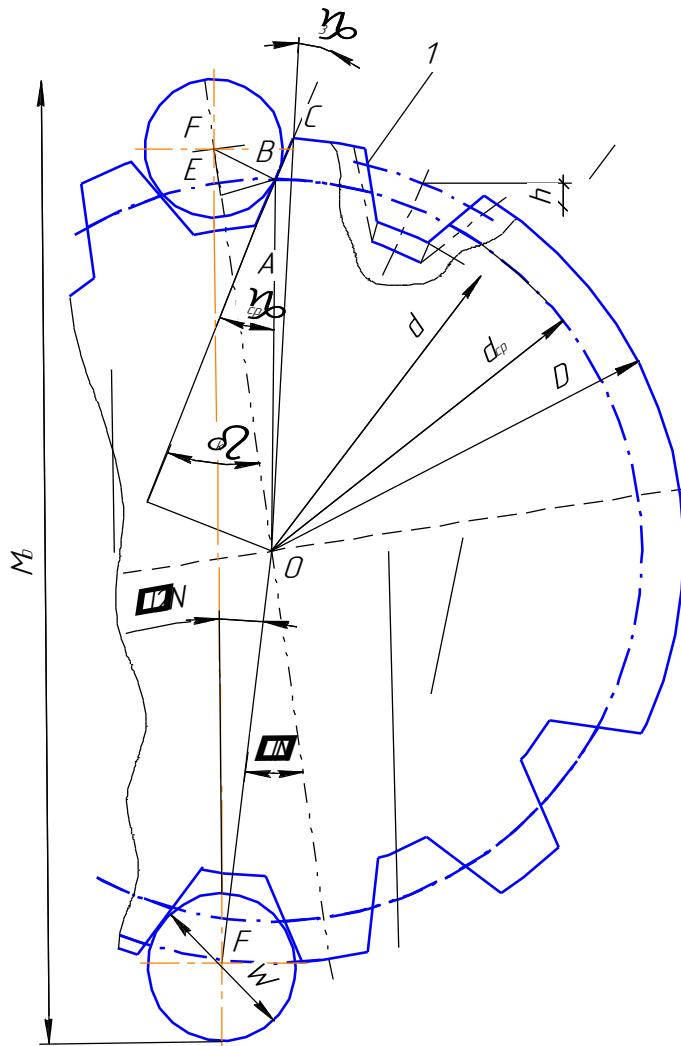


Рис 2.7 Схема контролю профілю коригувальних протяжок для трикутних шліців за допомогою роликів: 1 – профіль впадини контрольного зуба.

Із  $\triangle DOC$  знаходимо відстань бокового профіля а зуб  $D$  від центру протяжки.

$$DO = \frac{D \sin \gamma_3}{2} \quad (2,28)$$

Із  $\triangle AOD$  визначається відстань від центра протяжки до точки  $A$ , положення теоретичної вершини бокової сторони профіля на зуб  $D$

$$OA = \frac{DO}{\sin \beta_K} ;$$

Підставляючи в останній вираз значення  $DO$  із формули (2,28), отримуємо:

$$OA = \frac{D \sin \gamma_3}{2 \sin \beta_K}; \quad (2,29)$$

Діаметр вимірюючих роликів з ціллю контролю максимальних кутових погрішностей вибираєм із припущення, що точка дотику ролика з профілем зуба  $D$  лежить на колі середнього діаметра між  $d$  і  $D$ .

Тоді із  $\triangle BOD$  і  $\triangle BOE$  відповідно отримуємо:

$$\begin{aligned} \sin \gamma_{cp} &= \frac{4DO}{D+d} = \frac{2D \sin \gamma_3}{D+d}; \\ BE &= \frac{(D+d) \sin(\beta_K - \gamma_{cp})}{4}; \end{aligned} \quad (2.30)$$

Розрахунковий діаметр ролика  $W$  виражається із  $\triangle BEF$  слідуюча залежність:

$$W = 2FB = \frac{2BE}{\cos \beta_K} = \frac{(D+d) \sin(\beta_K - \gamma_{cp})}{2 \cos \beta_K}; \quad (2.31)$$

По отриманому значенню  $W$  приймається найближче менший або рівний діаметр ролика по ГОСТ 2475 – 62.

Відстань між зовнішнім утворюючим роликом  $M_D$  на зубі протяжки з зовнішнім діаметром  $D$ , число шліців оприділяється слідуючим образом:

$$M_D = 2(OA + FA) + W$$

Де  $FA$  знаходиться із  $\triangle FAB$  слідуючою залежністю:

$$FA = \frac{FB}{\sin \beta_K} = \frac{W}{2 \sin \beta_K}$$

Підставивши значення яке вийшло  $FA$  і значення  $OA$  із виразу (2,29) в виразі для  $M_D$ , виходить:

$$M_D = 2 \left( \frac{D \sin \gamma_3}{2 \sin \beta_K} + \frac{W}{2 \sin \beta_K} \right) + W = \frac{D \sin \gamma_3 + W}{\sin \beta_K} + W; \quad (2,32)$$

Для непарних чисел шліців вираз (2,32) приймається:

$$M_D = \frac{D \sin \gamma_3 + W}{\sin \beta_K} \cos \frac{\pi}{2N} + W; \quad (2,33)$$

На контрольному зубці протяжки, відповідно 1, відстань між зовнішніми утворюючими роликами  $M_d$  буде відрізнятись від розміру  $M_D$  на подвійну величину розвороту при шліфуванні профіля зуба  $D$  відносно  $d$ , а саме:

Для парного числа шліців:

$$M_d = M_D + 2h ; (2,34)$$

Для не парних

$$M_d = M_D + 2h \cos \frac{\pi}{2N} ; (2,35)$$

При розрахунку коригувального профілю трикутної шліцьової протяжки за допомогою електронно-обчислювальної машини в цілях спрощення заповнення бланка вихідних даних товщини шліців може бути задана розміром ролика. Перерахунок з розміру по ролику проводиться автоматично в наступному порядку.

Відстань між центрами вимірювальних роликів визначається по виразу:

Для парного числа шліців

$$D_{\text{ц}} = M + d_p ; (2,36)$$

Для не парних

$$D_{\text{ц}} = \frac{M + d_p}{\cos \frac{\pi}{2N}} ; (2,37)$$

Де  $M$  – розмір деталі по роликах;  $d_p$  - діаметр вимірюючих роликів.

Зовнішній теоретичний діаметр шліців знаходять по виразу:

$$D_0 = D_{\text{ц}} + \frac{d_p}{\sin(\beta - \frac{\pi}{N})} ; (2,38)$$

Подальший розрахунок коригувальних параметрів протяжки проводиться, згідно відповідним пунктам основного розрахунку, на основі отриманого значення  $H$ .

*Висновок:*

В даній теоретичній частині було представлено спосіб покращення точності бокових поверхонь прямих шліців, який дає можливість точніше виготовляти прямі шліці без великих похибок бокових поверхонь прямих

шліців. Тобто даний спосіб дає змогу зробити корегування протяжки для даної точності деталі (втулка шліцьова), і забезпечує більшу стійкість протяжки, тим самим збільшується її надійність і довговічність протяжки.

### ***3. Корекція профіля комбінованої протяжки при виконанні операції протягування шліцьового отвору.***

З'єднання типу вал-втулка широко застосовуються, виникає потреба для пошуку шляхів підвищення їх якості і ефективності. Найбільш широко застосовані шліцьові з'єднання з прямими профілем, також з трикутним профілем. Дуже важкий елемент з'єднання передач, який важко виготовити і для якого потрібно багато затрат (трудомісткість), з високими вимогами надійності. В більшості поломка таких шліцьових з'єднань є зминання шліців, і після чого з'єднання виходить з ладу.

Конструктивні особливості, сумарна довжина і технологічність виготовлення шліцьових протяжок багато в чому залежать від прийнятої послідовності зрізання припуску, тобто від комбінації зубців, що обробляють ті або інші елементи шліцьової втулки.

При обробці втулки для шліцьового з'єднання з центруванням по зовнішньому діаметрі або бічним поверхням шліців протяжка має тільки фасонні і шліцьові групи зубців. При центруванні по внутрішньому діаметрі шліців протяжка повинна містити додатково круглі зубці. Ресурсу та технологічності шліцьових з'єднань, дуже важка научно-технічна задача. Існуючі способи вирішення, таким способом щоб збільшити розмір і підвищити якість за традиційних технологій затратні. Можна виконати інший напрямок який дозволить уніфікувати геометрію шліців, по профілю.



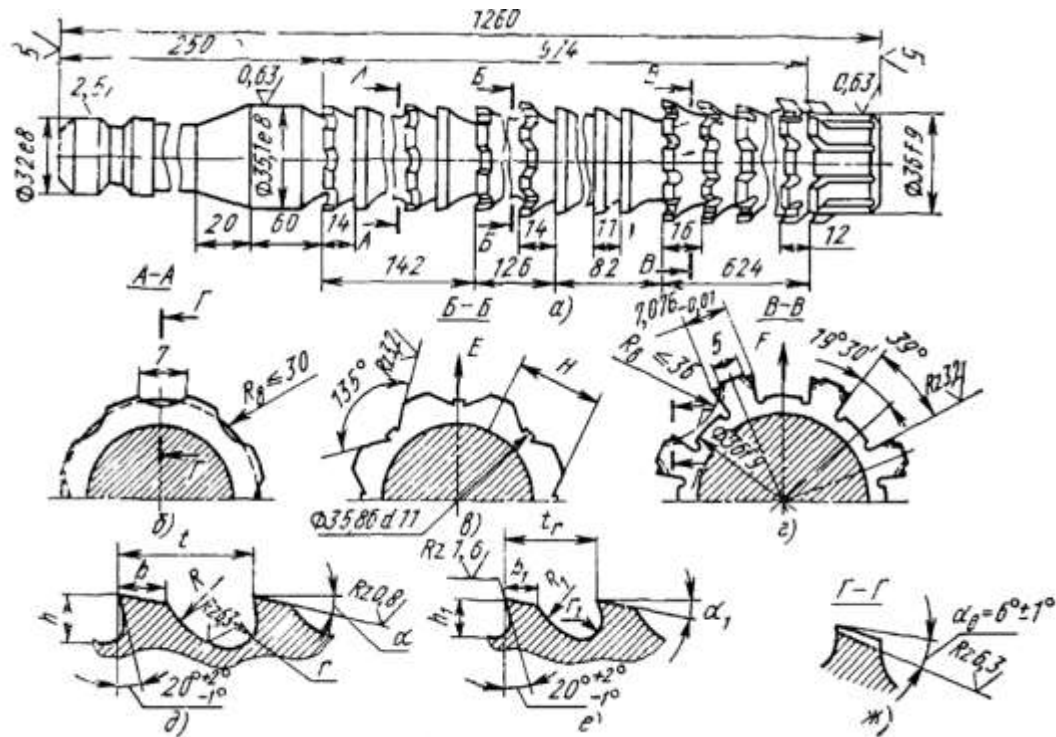


Рис. 3.1. Комбінована протяжка для шліцевих отворів з прямим профілем.

### 3.1 Вплив температурних факторів на нарізання внутрішніх прямих шліців.

Шліцева протяжка, на бічних поверхнях зубів якої виконані ріжучі кромки, що відрізняється тим, що зуби протяжки виконані в напрямку від першого зуба до останнього з зменшується шириною.

Найбільш близьким за сукупністю суттєвих ознак, є шліцева протяжка, на бічних поверхнях зубів якої виконані бічні ріжучі кромки і піднутріння. Допоміжні кути в плані починаються безпосередньо від точок сполучення головною і допоміжною різальних кромок. Ширина шліцевих зубів по вершинах виконана постійною, шліфування бічних поверхонь зубів здійснюється з підйомом заднього центру.

Однак, протягання описаної конструкції характеризуються порівняно невисокою стійкістю, не дозволяють вирішити питання забезпечення якості бічних поверхонь пазів.

Як показала практика, при проходженні зубів протяганням в деталі має місце великі контактні тиску і підвищені сили тертя між стінками пазів шліцьового отвори і бічними поверхнями зубів, через температурні розширення шліцьові виступи отвори і супутніх пружних локальних вм'ятин. Негативні наслідки цього явища - знос бічних поверхонь зубів, виривання металу з деталі. Це особливо проявляється при роботі останніх ріжучих зубів протягання.

Збільшення кута покращує умови різання, але при цьому зростає негативний вплив зростаючого підйому заднього центра протяжки при шліфуванні її зубів на взаємне розташування шліцьових виступів.

В шліцьових протяжка, на бокових поверхнях зубів котрі виконані з ріжучими кромками, зуби виконуються в напрямку від першого зуба до останнього зі зменшувальною шириною.

Шліцьові ріжучі зуби виконані зі зменшеною шириною в напрямку від першого зуба до останнього що зменшує зростання контактних сил тертя, що виникають між допоміжними ріжучими крайками і бічними стінками шліцьового паза при температурних деформаціях останніх, підвищує в цілому стійкість протягання і виключає виривання металу зі стінок паза деталі.

Робоча частина шліцьової протяжки зі змінною шириною шліцьових зубів. Ширина зубів монотонно зменшується на всій довжині ріжучої частини.

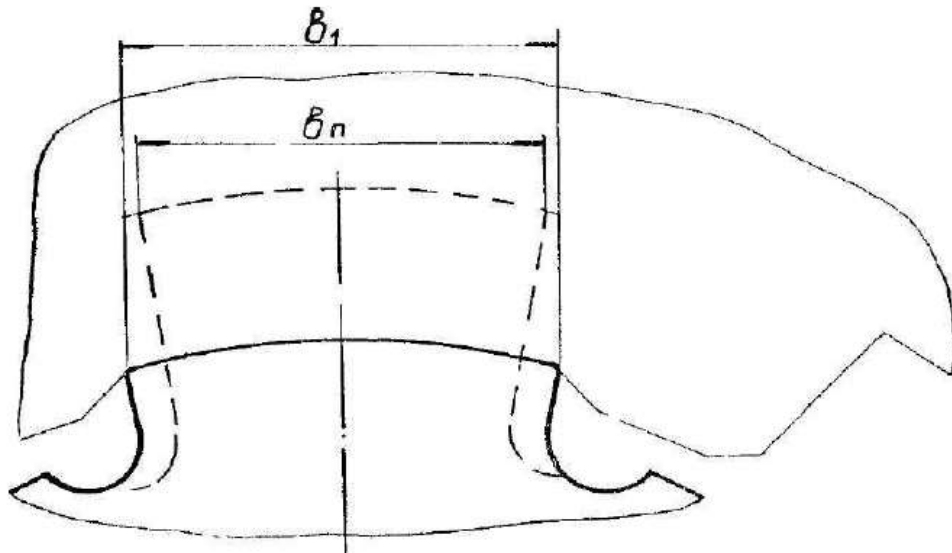


Рис 3.2 Робота протяжки при нагріванні.

У поперечному перерізі головний ріжучий зуб оформлений головною різальною кромкою і допоміжними кромками під кутами починаються безпосередньо від точок сполучення названих кромek. Для утворення змінюється ширина шліцевих зубів і заданого кута, необхідно шліфування допоміжних ріжучих кромek виробляти з підйомом заднього центру. Зсув останнього ріжучого зуба щодо першого.

Найбільш раціональним значенням кута, що забезпечує максимальну стійкість і відсутність виривання на бічній поверхні шліца є кут  $0^{\circ}8'$ ,  $0^{\circ}10'$ . В цьому випадку збільшення ширини шліцевого виступу при нагріванні деталі приблизно дорівнює зменшенню ширини зуба протяжки.

Працює протяжка наступним чином.

Кожен ріжучий зуб зрізає шар товщиною (рис 3.2), рівній підйому на зуб, ширина зрізаних шарів від першого зуба до останнього зменшується. У процесі різання, починаючи з роботи перших зубів протяжки, протягувальна деталь розігрівається. При цьому тіло шліца під впливом теплоти різання, нагріваючись, розширюється. Розширення в міру збільшення діаметра зростає.

Саме розігрівом деталі пояснюється збільшення контактного тертя між бічними кромками зуба протяжки і стінками деталі при незмінній (постійній) ширині не зуба. Застосування шліцевих протяжок зі зменшеною шириною ріжучих зубів (від першого до останнього) дозволяє підвищити стійкість протяжок, виключити виривання металу з деталі.

### **3.2 Вплив кутів піднутріння на шорсткість оброблюваної поверхні.**

Можна отримати декілька десятків варіантів протяжок при проектуванні. Критерії варіантів протяжок: довжині, підйому на чорновий зуб, підйому на чистовий зуб, однакове навантаження сил різання на різні групи зубів, та й інші. Найбільш важким і трудомістким процесом є коригування фасонного профілю. Шліфування бічного кута піднутріння, залежить від величини підйому хвостовика.

Щоб отримати прямолінійний профіль деталі, то повинна виконуватись криволінійна подача у радіальному напрямку, протяжки. Щоб спростити правки для шліфувального круга, то його приймають прямолінійним. Кут профілю  $\beta_k$  – це середнє значення коригованих кутів протяжки, різних зубів протяжки.

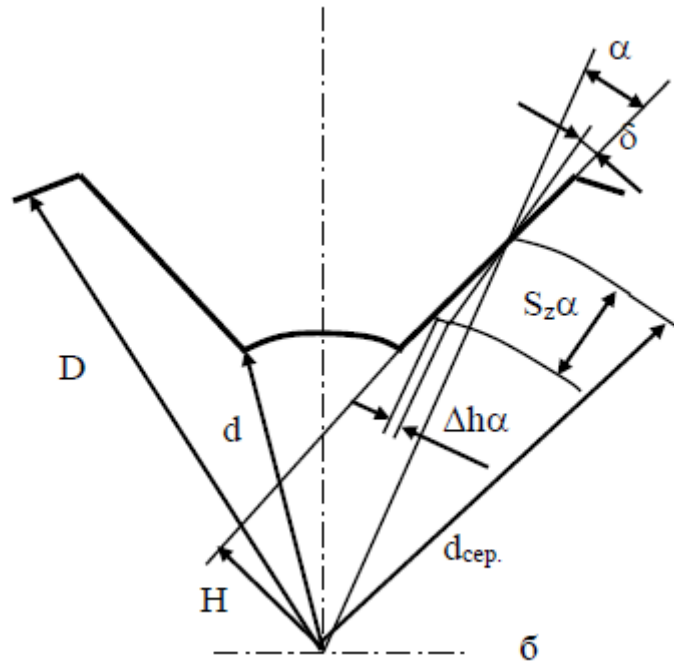


Рис 3.3 Шорсткість поверхні в залежності від кута піднутріння зубів протяжки.

Щоб забезпечити потрібну шорсткість протягування, бічних сторін шліцьової поверхні, потрібно, щоб висотою сходинок зубів протяжки утворився під час корекції, по нормалі до профілю, немає виходити за межі потрібної шорсткості.

Коли протягують трикутні шліци (рис 3.3) висота нерівностей  $\Delta h$  постійна, підйом на зуб протяжки є рівномірною уздовж оброблюваного профілю заготовки. Залежність між кутом бічного піднутріння  $\delta$  і висотою нерівностей  $\Delta h$ , які утворюються сходинок, на бічному профілі деталі зубами протяжки  $d_{сер.} = 0,5 (D + d)$ . Підйом у радіальному напрямку  $S_z$ , можна отримати як середнє значення підйому, для зубів у радіальному напрямку від діаметра  $d$  до діаметра  $D$ :

$$S_z = (D - d) / 2(z - 1)$$

Зв'язок між кутом бічного піднутрення і висотою нерівностей, при протяганні шліців трикутного профілю виразиться залежністю:

$$\Delta h = S_z \sin \delta / \cos(a - \delta)$$

Для визначення найкращого за умвами шорсткості обробки кута бічного піднутрення, із залежності  $\Delta h$  від  $\delta$  для трикутних і прямобічних протяжок

### ***3.3 Коригування шліцьових протяжок трикутного профілю.***

Щоб удосконалити протяжку потрібно провести корекційний розрахунок. Коригування це найбільш важкий етап, в процесі розрахунку протяжки. Застосовується для отримання певного кута піднутріння, для зменшення тертя на бічних сторонах зубів. Виконується тільки при піднятому задньому хвостовику. Після розрахунку коригування протяжки, після шліфування необхідно, щоб при поверненні протяжки в робоче положення, точки, котрі лежать на вершинах протяжки (2) потрібно щоб співпадали з вершинами оброблюваного профілю деталі (1).

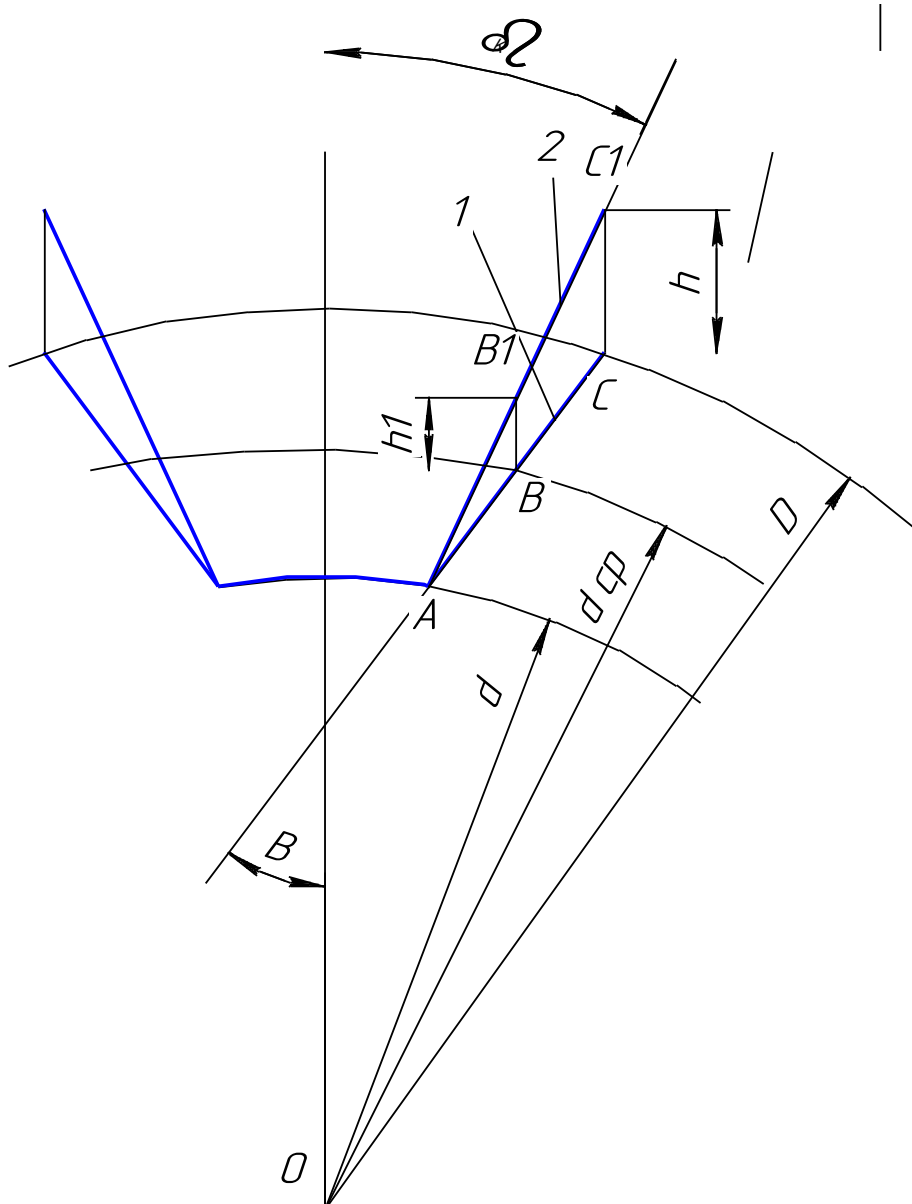


Рис.3.4 Схема корекції профілю протяжки для трикутних шліців при шліфуванні його з піднятим заднім хвостовиком.

Для отримання прямого профіля трикутного шліца може бути отримане тоді, коли  $BB^1 = \frac{1}{2}CC^1$  (Рис.3,4), із  $\triangle ACC_1$  видно що рівність може бути виконана тільки, якщо  $AB = BC$ . Якщо  $AC$  розташована в радіальній площині. Щоб отримати прямий профіль деталей, при рівномірних подачах,

то коригований профіль протяжки, повинен виконуватися криволінійним. Але щоб спростити коригований профіль протяжки для шліфувального круга, його приймають прямолінійним. Коли протягуються крупні зуби трикутних шліців, і коли мале число зубів з кутом профілю на сторону  $\beta \geq 45^\circ$ , тоді похибка виходить за межі поля допуску. Тоді розраховують протяжки так, підйом на зуб, буде рівномірним не в радіальному напрямку, а уздовж бокових поверхонь шліців. То корекційний розрахунок на зуб починаєм базового  $d$ .

Для цього потрібно суміщення всіх вершин шліцевих зубів протяжки з протягувальним профілем деталі, відрізок  $AC=L$  (рис 3,5), виконується корекція діаметрів всіх зубів протяжки, розміщених між  $d$  до  $D$ .

Довжина бокового профіля шліца (відрізок  $AC=L$ ) визначається з:

$$L = \frac{l}{\sin \beta} ;$$

$$KC = \frac{D \sin \theta_3}{2} \quad EA = \frac{d \sin \theta_1}{2};$$

$$l = KC - EA = \frac{D \sin \theta_3 - d \sin \theta_1}{2}$$





Із  $\triangle OHA$  з радіус-вектором  $OA$ , переміщуються із точки 1 в точку 3 позовж відрізка  $AC$  з кроком  $a_z$ , діаметр кожного зуба шліцьової частини протяжки, починаючи з  $d$  по  $D$  включно, виражаємо залежність:

$$d_n = 2\sqrt{H^2 + [HA + a_z(n-1)]^2}$$

$$H = \frac{d_{cp}}{2} \sin \gamma_2$$

$$\gamma_2 = \beta - \theta_2$$

$$\gamma_1 = \beta - \theta_1$$

Де  $n$  – порядковий номер зуба протяжки від 1-го, відповідно  $d$ , до  $z$ , відповідно зуба  $D$ ,  $HA$  – відрізок, визначається із  $\triangle OHA$  як:

$$HA = \frac{d \cos \gamma_1}{2}$$

Підставляючи значення  $HA$  в вираз, отримуємо кінцеву формулу визначення діаметрів шліцьових зубів протяжки:

$$d_n = 2\sqrt{H^2 + \left[\frac{d \cos \gamma_1}{2} + a_z(n-1)\right]^2}$$

Завдяки цій формулі ми знаходимо похибку бокової стінки шліца. В подальшому можливе усунення цієї похибки.

Висновок:

В цьому розділі ми розібрались із похибками які виникають при обробці внутрішніх шліців. Що також впливає температура на оброблення деталі, заважає при обробці, неможна здобути задану шорсткість деталі.

## *Литература*

1. Маргулис Д.К. Протяжки для обработки отверстий. – М.: Машиностроение. – 1986. – 232с.
2. Санова Л.А., Тягунова З.В. Проектирование протяжек с корригированным профилем. – Калуга: МГТУ имени Н.Э. Баумана. – 2015. – 46с.
3. Таратынов О.В., Тарамыкин Ю.П. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ. – М: Высшая школа, 1991. – 422
4. Б.И. Сеницын Методы корригирования рабочих профилей металлорежущих инструментов с использованием ЭВМ. – Минск.: «Наука и техника», 1969. – 128 с.
5. Справочник конструктора - инструментальщика / Под общ. ред. В.А. Гречишникова и С.В. Кирсанова. 2-е изд., перераб. и доп. М.:Машиностроение, 2006. - 542с.
6. Автоматизовані системи проектування різальних інструментів: нав. пос. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технологія машинобудування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л.М. Данилова.– Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2017.– 118 с.